



TESIS - SK142502

**INHIBISI KOROSI LOGAM STAINLESS STEEL
304 MENGGUNAKAN EKSTRAK DAUN
Tithonia diversifolia (Hemsl) A. Gray
Asteraceae DALAM MEDIA HCl 1 M**

Soraya Firdausi
NRP. 1414201029

DOSEN PEMBIMBING
Dr.rer.nat. Fredy Kurniawan, M.Si

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN KIMIA ANALITIK
JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVEMBER
SURABAYA
2016



TESIS - SK142502

**CORROSION INHIBITION ON 304 STAINLESS
STEEL BY *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A.
Gray Asteraceae LEAVES EXTRACT IN 1 M
HCl**

Soraya Firdausi
NRP. 1414201029

SUPERVISOR
Dr.rer.nat. Fredy Kurniawan, M.Si

MAGISTER PROGRAM
ANALYTICAL CHEMISTRY
DEPARTMENT OF CHEMISTRY
FACULTY OF MATHEMATIC AND NATURAL SCIENCES
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVEMBER
SURABAYA
2016

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Sains (M.Si)

Di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Soraya Firdausi

NRP. 1414 201 029

Tanggal Ujian : 18 Januari 2016

Periode Wisuda : Maret 2016

Disetujui Oleh :

1. Dr.rer.nat. Fredy Kurniawan, M.Si (Pembimbing)
NIP. 19740428 199802 1 001



2. Suprpto, M.Si, Ph.D (Penguji)
NIP. 19720919 199800 1 002



3. Prof. Dr. Didik Prasetyoko, M.Sc (Penguji)
NIP. 19710616 199703 1 002



Direktur Program Pascasarjana

Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.

NIP. 19601202 198701 1 001



Inhibisi Korosi Logam Stainless Steel 304 Menggunakan Ekstrak Daun *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray Asteraceae dalam Media HCl 1 M

Nama Mahasiswa : Soraya Firdausi
NRP : 1414201029
Dosen Pembimbing : Dr.rer.nat Fredy Kurniawan, M.Si

ABSTRAK

Ekstrak daun *Tithonia diversifolia* Hemsl A. Gray (TDA) telah diuji sebagai inhibitor korosi ramah lingkungan pada logam stainless steel 304 dalam media HCl 1M. Ekstrak daun TDA diperoleh dari maserasi menggunakan pelarut aqua DM. Hasil ekstrak daun TDA dikarakterisasi menggunakan instrumen spektrofotometer FTIR. Pengujian inhibisi korosi dilakukan dengan metode polarisasi potensiostatik dan EIS dengan hasil %EI sebesar 80,98% dan 72,94% pada suhu kamar. Pengaruh suhu pada kinerja ekstrak daun TDA sebagai inhibitor juga dilakukan dengan metode polarisasi potensiostatik dan diketahui bahwa kinerja inhibitor dalam menginhibisi korosi pada logam stainless steel meningkat dengan naiknya suhu. Inhibisi ekstrak daun TDA paling baik adalah pada suhu 65°C dengan %EI sebesar 98,48%. Ekstrak daun TDA merupakan inhibitor tipe campuran dan proses inhibisi yang terjadi berupa kemisorpsi.

Kata Kunci : SS 304, Polarisasi Potensiostatik, EIS.

**Corrosion Inhibition on 304 Stainless Steel By *Tithonia diversifolia* (Hemsl)
A. Gray Asteraceae Leaves Extract In 1 M HCl**

By : Soraya Firdausi
Student Identity Number : 1414201029
Supervisor : Dr.rer.nat Fredy Kurniawan, M.Si

ABSTRACT

Tithonia diversifolia Hemsl A. Gray (TDA) leaves extract has been tested as green corrosion inhibitor on the surface of 304 stainless steel in 1 M HCl. The powder of TDA leafs was extracted using demineralized water and characterized by FTIR spectrophotometer. The corrosion inhibition was tested by potentiodynamic polarization and EIS method. It was observed the IE% at temperature room reach up to 80,98% and 72,94% respectively. The effect of temperature was studied by potentiodynamic polarization method and showed that inhibition properties of TDA leaves extract increase with increasing temperature. The best performance of TDA leaves extract at 65°C with IE% reach up to 98,48%. The type of inhibitor is mixed inhibitor and the inhibition process is chemisorption.

Keywords: 304 SS, Potentiodynamic Polarization, EIS.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang selalu melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan dengan baik naskah tesis yang berjudul “ Inhibisi Korosi Logam Stainless Steel 304 Menggunakan Ekstrak Daun *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray Asteraceae Dalam Media HCl 1 M ”. Tulisan ini tidak akan terwujud tanpa bantuan, dukungan, doa serta dorongan semangat dari semua pihak. Untuk itu penulis sangat berterima kasih kepada:

1. Dr.rer.nat Fredy Kurniawan, M.Si selaku pembimbing dan Kepala Laboratorium Instrumentasi dan Sains Analitik yang telah membantu secara administrasi dalam penyusunan proposal thesis ini.
2. Prof. Mardi Santoso, Ph.D selaku kaprodi Magister Kimia FMIPA ITS.
3. Kedua orang tua, kakak yang selalu memberi dukungan, doa, serta semangat yang tiada henti.
4. Teman-teman mahasiswa Kimia FMIPA, C28 beserta rekan-rekan seperjuangan di Laboratorium Instrumentasi dan Sains Analitik atas semua bantuan, pengertiannya serta selalu memberikan semangat, doa dan dukungannya dalam penyusunan proposal tesis ini.
5. Semua pihak yang telah membantu yang tidak mungkin saya sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penulisan naskah proposal tesis ini tidak lepas dari kekurangan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk dapat meningkatkan kualitas dan perbaikan lebih lanjut. Semoga tesis ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Surabaya, 20 Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN TESIS.....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	4
1.3. Batasan Masalah.....	4
1.4. Tujuan.....	5
1.5. Manfaat Penelitian.....	5
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA.....	7
2.1. Korosi Logam.....	7
2.2. Klasifikasi Korosi Logam.....	8
2.3. Termodinamika Korosi.....	8
2.4. Kinetika Korosi.....	10
2.5. Inhibitor Korosi.....	11
2.6. <i>Tithonia diversifolia</i> (Hemsl) A. Gray.....	12

2.6.1.	Klasifikasi dan Karakteristik.....	12
2.6.2.	Kandungan Tithonia diversifolia (Hemsl) A. Gray...	13
2.6.3.	Manfaat daun Tithonia diversifolia (Hemsl) A. Gray..	14
2.6.4.	Penggunaan Tithonia diversifolia (Hemsl) A. Gray sebagai Inhibitor Korosi.....	14
2.7.	Logam Stainless Steel 304.....	15
2.8.	Metode Polarisasi Potensiodinamik.....	16
2.9.	Metode Electrochemical Impedance Spectroscopy.....	16
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....		19
3.1.	Alat Dan Bahan.....	19
3.1.1.	Alat.....	19
3.1.2.	Bahan.....	19
3.2.	Prosedur Kerja.....	19
3.2.1.	Ekstraksi Daun Tithonia diversifolia (Hemsl) A. Gray	19
3.2.2.	Karakterisasi FTIR Ekstrak Tithonia diversifolia (Hemsl) A. Gray.....	20
3.2.3.	Pembuatan Media Korosi (HCl 1 M).....	20
3.2.4.	Preparasi Spesimen Stainless Steel 304.....	20
3.2.5.	Pengujian dengan Metode Polarisasi Potensiodinamik	20
3.2.6.	Pengujian dengan Metode EIS (Electrochemical Impedance Spectroskopi).....	21
3.2.7.	Pengujian dengan Metode Polarisasi Potensiodinamik pada Variasi Suhu.....	22
3.2.8.	Analisis Permukaan Logam Stainless Steel 304.....	23
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....		25
4.1.	Ekstraksi Daun Tithonia diversifolia (Hemsl) A. Gray.....	25

4.2.	Karakterisasi FTIR Ekstrak <i>Tithonia diversifolia</i> (Hemsl) A. Gray.....	25
4.3.	Pengujian dengan Metode Polarisasi Potensiodinamik.....	26
4.4.	Pengujian dengan Metode EIS (Electrochemical Impedance Spectroskopi).....	29
4.5.	Pengujian dengan Metode Polarisasi Potensiodinamik pada Variasi Suhu.....	32
4.6.	Adsorpsi Isotermal.....	36
4.7.	Analisa Permukaan Logam Stainless Steel 304.....	40
4.8.	Mekanisme Inhibisi ekstrak <i>Tithonia diversifolia</i> pada SS 304.....	41
	BAB 5 KESIMPULAN.....	43
	DAFTAR PUSTAKA.....	45
	LAMPIRAN.....	49
	BIOGRAFI PENULIS.....	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ilustrasi Mekanisme Kerja Inhibitor Organik.....	12
Gambar 2.2 Tanaman <i>Tithonia diversifolia</i> (Hemsl) A. Gray.....	13
Gambar 2.3. Diagram Tafel.....	16
Gambar 2.4. Diagram Nyquist.....	17
Gambar 4.1 Ekstrak <i>Tithonia diversifolia</i> (Hemsl) A. Gray.....	25
Gambar 4.2 Spektra FTIR Ekstrak <i>Tithonia diversifolia</i> (Hemsl) A. Gray....	26
Gambar 4.3 Kurva Polarisasi SS 304 dalam HCl 1 M dengan variasi konsentrasi inhibitor.....	29
Gambar 4.4 Plot Nyquist SS 304 dalam HCl 1 M dengan variasi konsentrasi inhibitor.....	31
Gambar 4.5 Sirkuit ekuivalen pada diagram EIS.....	31
Gambar 4.6 Kurva Polarisasi SS 304 dalam HCl 1 M dengan variasi suhu....	33
Gambar 4.7 Plot Arrhenius $\ln i_{corr}$ vs $1/T$ dalam HCl 1 M.....	34
Gambar 4. 8 Plot Arrhenius $\ln i_{corr}/T$ vs $1/T$ dalam HCl 1 M.....	35
Gambar 4.9 Adsorpsi isothermal (a) Langmuir (b) Freundlich (c) Temkin (d) Frumkin.....	38
Gambar 4.10 Analisa Permukaan SS 304 (a) sebelum terkorosi, (b) tanpa inhibitor, (c) dengan inhibitor dalam HCl 1 M.....	41

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi Korosi pada Logam berdasarkan morfologi.....	8
Tabel 2.2 Komposisi Logam Stainless Steel 304.....	16
Tabel 4.1 Parameter Polarisasi Potensiodinamik SS 304 dalam HCl 1 M dengan variasi konsentrasi inhibitor.....	29
Tabel 4.2 Parameter Impedansi SS 304 dalam HCl 1 M dengan variasi konsentrasi inhibitor.....	32
Tabel 4.3 Parameter Polarisasi Potensiodinamik SS 304 dalam 1M HCl SS 304 pada variasi suhu.....	33
Tabel 4.4 Parameter aktivasi E_a , ΔH dan ΔS tanpa dan dengan inhibitor.....	35



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A SKEMA KERJA.....	49
LAMPIRAN B PEMBUATAN LARUTAN.....	53
LAMPIRAN C PERHITUNGAN PARAMETER AKTIVASI.....	55
LAMPIRAN D EKSTRAPOLASI TAFEL.....	59
LAMPIRAN E SPEKTRA IMPEDANSI.....	67

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dunia industri merupakan bagian yang tidak dapat dipisahkan dari penggunaan logam dan paduannya (Al-Otaibi dkk., 2014). Salah satu tantangan terbesar dan terumit bagi industri adalah bagaimana melindungi logam dari korosi (Al-Otaibi dkk., 2014). Suatu bahan yang mengandung logam atau paduan berpotensi mengalami korosi baik akibat udara, lingkungan yang berair dan adanya asam. Korosi logam dapat terjadi pada industri yang bergerak dibidang penghilangan lapisan oksida yang tidak diinginkan dan penyimpanan asam (Kamal dan Sethuraman, 2012; Rani dan Basu, 2011). Salah satu larutan yang dapat menyebabkan terjadinya korosi pada logam stainless steel adalah asam klorida dan asam sulfat (Kamal and Sethuraman, 2012; Soltani dkk., 2014, 2012). Salah satu jenis logam yang banyak dimanfaatkan dalam bidang industri adalah logam Stainless Steel 304. Hal ini dikarenakan ketahanannya terhadap korosi dengan membentuk lapisan pasif tipis di atas permukaannya. Akan tetapi kemampuan hambatan korosi yang terbentuk sangat terbatas sehingga pada akhirnya tetap mengakibatkan korosi sumuran (*pitting*) (Albrimi dkk., 2015).

Korosi dianggap sebagai masalah yang perlu dihindari oleh manusia karena sangat merugikan dan menimbulkan banyak masalah (Sharma, 2012). Korosi diartikan sebagai suatu hasil destruktif dari reaksi kimia antara logam atau paduan logam dengan lingkungannya (Supomo, 2003). Korosi merupakan proses penurunan kualitas dari suatu logam akibat interaksinya dengan lingkungan maupun bahan kimia. Peristiwa korosi suatu logam bersifat berkelanjutan dan konstan, artinya logam yang telah terkorosi tidak dapat kembali ke keadaan semula (Rani dkk., 2011). Peristiwa korosi pada logam tidak bisa dihentikan, akan tetapi dapat dikendalikan (Soltani dkk., 2012).

Terdapat berbagai macam metode untuk pengendalian dan pencegahan korosi (Kamal and Sethuraman, 2012). Pencegahannya dapat dilakukan dengan

cara meningkatkan kualitas dari bahan logam yang digunakan, kontrol pada proses produksi dan pemberian inhibitor (Al-Otaibi dkk., 2014). Perlindungan permukaan logam dari korosi menggunakan pelapisan senyawa organik menjadi pilihan yang paling banyak digunakan. Metode ini dianggap lebih efektif dalam melindungi logam dari korosi tanpa merusak logam itu sendiri (Gang Hu dkk., 2011). Salah satu teknik yang digunakan untuk mengendalikan korosi adalah pemberian inhibitor korosi yang dapat menurunkan laju korosinya (Sastri, 2012). Dari beberapa metode pengendalian korosi yang ada, pemberian inhibitor menjadi salah satu metode efektif untuk mencegah dan mengendalikan korosi dan banyak diaplikasikan dalam dunia industri. Hal ini karena dianggap lebih ekonomis, efektif dan pengaplikasian yang cukup mudah (Dariva dkk., 2014).

Inhibitor korosi dibedakan menjadi dua jenis yaitu inhibitor anorganik dan organik. Banyak industri yang memanfaatkan inhibitor anorganik untuk perlindungan korosi, akan tetapi inhibitor ini sangat mahal dan beracun (Alaneme dkk., 2012). Berdasarkan pengamatan pada tahun 2012, penggunaan inhibitor anorganik mengalami peningkatan sebanyak 4.1%, pemanfaatan petroleum telah mencapai angka 26.6%. Selain itu penggunaan kromat, fosfat, vanadat, molybdate dan serum klorida juga banyak digunakan sebagai inhibitor anorganik (Kumar dkk., 2006). Pelapisan permukaan logam dengan senyawa yang mengandung heksavalen kromium dan pelarut yang mengandung resin lebih banyak dipakai. Hal ini dikarenakan kromat merupakan inhibitor yang bekerja dengan cara mereduksi korosi dengan membentuk oksida yang tidak terlarut. Kromat akan menghambat reaksi pada anoda dan katoda, dan dikenal sebagai inhibitor korosi terbaik pada logam Aluminium. Akan tetapi kromat merupakan senyawa yang sangat beracun. Jika Cr^{6+} tereduksi menjadi Cr^{3+} maka akan berdampak pada rusaknya DNA (Kumar dkk., 2006). Oleh karena itu perlu dilakukan pengembangan dan penelitian lebih lanjut mengenai inhibitor korosi yang ramah terhadap lingkungan dan mudah diaplikasikan dalam dunia industri (Dariva dkk., 2014).

Inhibitor alami memegang peranan penting dalam strategi pengendalian korosi. Pemanfaatan ekstrak tanaman dari bagian daun, kulit, benih, akar yang mengandung senyawa organik campuran seperti Nitrogen, Sulfur, dan Oksigen

dapat menjadi inhibitor korosi logam yang efektif dalam lingkungan yang berbeda-beda (Mourya dkk., 2014a; Oguzie, 2007). Inhibitor organik akan teradsorp ke permukaan logam, menutupi daerah yang berpotensi terjadi korosi (Ahmed dkk., 2012). Keefektifan inhibitor dapat dilihat dari adanya ikatan π (El-Haddad, 2013). Dari banyaknya produk natural, ekstrak tanaman menjadi pilihan yang menarik. Kelimpahan unsur fitokimia dalam ekstrak tanaman menjadikannya sebagai sumber pilihan alternatif sebagai inhibitor korosi yang ramah terhadap lingkungan, efektif, ekonomis dan tidak beracun (Mourya dkk., 2014b).

Ekstrak tanaman menjadi pilihan alternatif sebagai sumber inhibitor alami yang ramah terhadap lingkungan, tersedia dalam jumlah banyak dan sumber pilihan alternatif untuk mencegah dan mengendalikan korosi (Alaneme dkk., 2012). Kelebihan lainnya yang dapat diperoleh jika menggunakan inhibitor alami adalah mudah terurai dan tidak beracun bagi lingkungan (Alaneme dkk., 2012). Pembuktian keberhasilan penggunaan inhibitor korosi alami dari ekstrak tanaman telah banyak dilakukan oleh para peneliti diantaranya pada tahun 1930, merupakan awal mula penelitian mengenai inhibitor korosi organik pertama dengan mengekstrak *Chelidonium majus* (Celadine) pada proses pickling asam sulfat, Alaneme dkk (2012) yang menjadikan ekstrak batang *Tithonia diversifolia* sebagai inhibitor korosi pada baja lunak dengan efisiensi inhibisi sebesar 78.8%, Prabhu dkk (2013) menggunakan ekstrak ketumbar sebagai inhibitor korosi pada logam Aluminium dalam media asam fosfat dengan efisiensi inhibisi sebesar 72.75% dan Oguzie dkk (2007) memanfaatkan tanaman hias Lidah Mertua sebagai inhibitor korosi logam Aluminium dalam media HCl dengan inhibisi sebesar 99.43%, sedangkan Deng dkk (2012) mampu menjadikan daun dari bunga *Jasminum nudiflorum* Lindl sebagai inhibitor korosi pada logam Aluminium dalam media 1M HCl dengan nilai efisiensi inhibisinya mencapai 93.1% (Alaneme dan Olusegun, 2012; Deng dan Li, 2012; Oguzie, 2007; Prabhu dan Rao, 2013). Pada penelitian ini akan digunakan daun *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray (TDA) sebagai inhibitor alami korosi pada logam Stainless Steel 304 dalam media HCl. Tanaman ini termasuk dalam keluarga Asteraceae dan terkenal sebagai tanaman obat tradisional dan dikenal pula dengan nama Mexican

Sunflower (Thongsom dkk., 2013). Pengujian aktivitas antioksidan pada bagian bunganya dengan pelarut etanol menunjukkan adanya senyawa fenolik seperti tannin, flavonoid, dan total fenol yang menjadikan tanaman ini sebagai tanaman yang berpotensi memiliki kandungan antioksidan yang kuat. (Gama dkk., 2014). Kandungan-kandungan di dalam daun *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray terdiri dari sesquiterpen, diterpen, monoterpen dan senyawa alisiklik yang dapat diekstrak langsung dari daun, batang dan bunganya (Obafemi dkk., 2006). Aktivitas antioksidan pada tanaman *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray dikarenakan adanya komponen fenolik seperti flavonoid, asam fenolik, dan fenolik diterpen yang dapat mencegah dan menghambat reaksi oksidasi dengan menghambat reaksi oksidasi (Thongsom dkk., 2013). Dengan adanya kandungan antioksidan pada tanaman *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray, dimungkinkan tanaman ini dapat dimanfaatkan sebagai inhibitor korosi pada logam stainless steel 304 dalam media HCl 1M yang ramah terhadap lingkungan.

1.2. Rumusan Masalah

Ketersediaan tanaman *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray (TDA) yang melimpah dapat dimanfaatkan sebagai sumber alternatif baru sebagai inhibitor korosi. Belum ada yang melaporkan proses ekstraksi tanaman TDA dengan pelarut air sebagai inhibitor korosi pada logam stainless steel 304 dalam media HCl 1 M. Rumusan masalah pada penelitian ini adalah apakah ekstrak daun *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray dapat digunakan sebagai inhibitor korosi pada logam Stainless Steel 304 dalam media HCl 1M.

1.3. Batasan Masalah

Pengujian efisiensi inhibisi ekstrak daun *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray dalam menurunkan laju korosi dalam media HCl 1M dilakukan dengan variasi konsentrasi inhibitor dari 2; 2,5; 3; 3,5 4 (g/L) dan variasi suhu pada 25, 35, 45, 55, 65 (°C) dengan menggunakan metode polarisasi potensiostatik dan EIS (*Electrochemical Impedance Spectroscopy*).

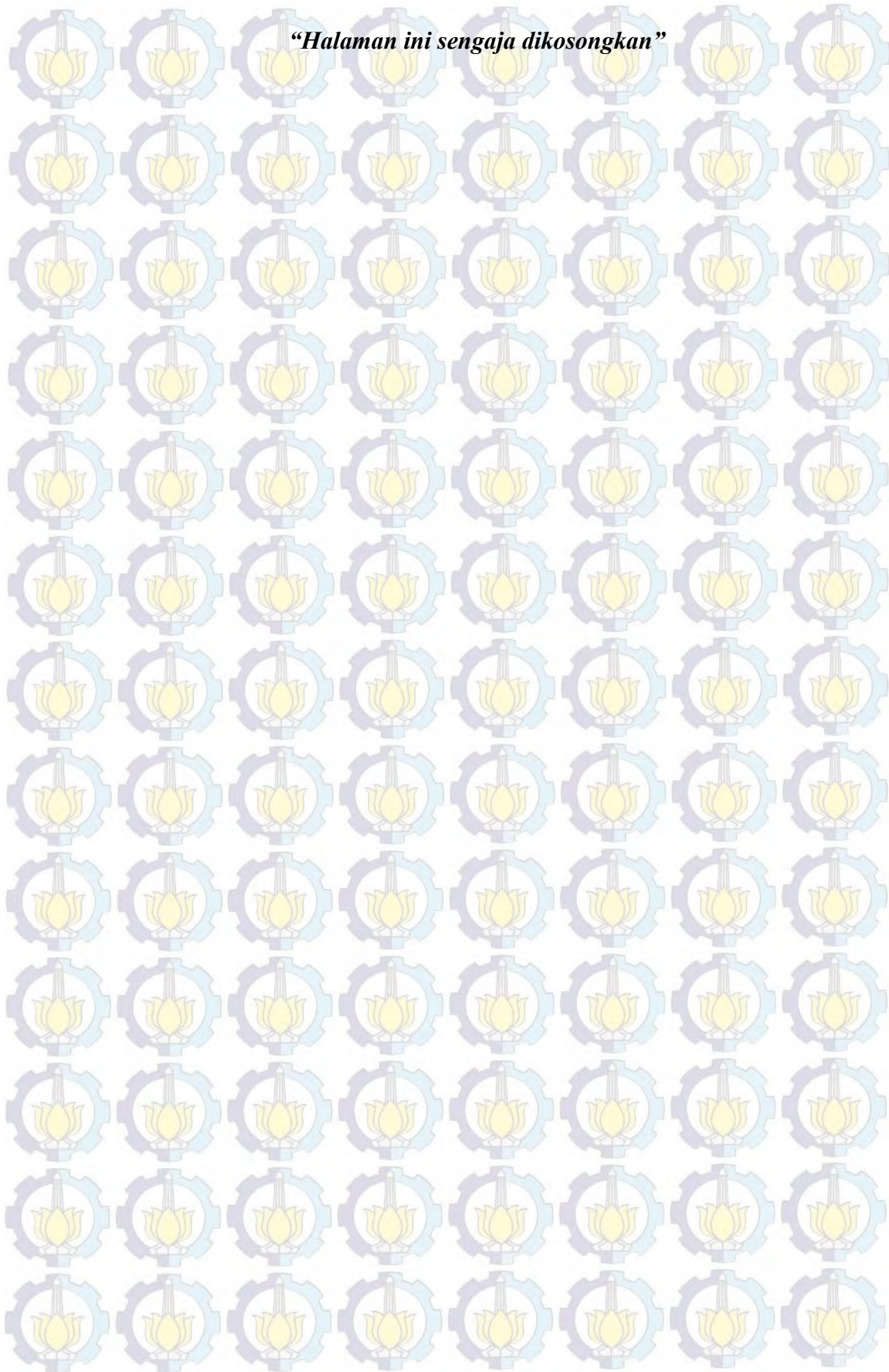
1.4. Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penggunaan ekstrak daun *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray (TDA) sebagai inhibitor korosi logam Stainless Steel 304 dalam media HCl 1 M.

1.5. Manfaat Penelitian

Harapan dari penelitian ini adalah untuk memberikan pengetahuan mengenai sumber alternatif baru yang dapat digunakan sebagai inhibitor korosi logam Stainless steel 304 dalam media HCl 1 M yang ramah terhadap lingkungan dan ekonomis.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1. Korosi Logam

Kata “corrosion” berasal dari bahasa latin *rodere* yang artinya terkikis (Sastri, 2012). Suatu bahan logam tentu saja berpotensi mengalami korosi baik akibat udara maupun lingkungan yang berair. Korosi logam merupakan masalah yang sangat dihindari oleh industri. Oleh karena itu telah banyak penelitian yang mempelajari bagaimana cara pencegahan dan perlindungan terhadap suatu bahan logam. Ilmu korosi modern mengungkapkan bahwasanya korosi logam merupakan reaksi pasangan elektrokimia yang terdiri dari oksidasi logam dan reduksi oksidan katodik. Teori elektrokimia tidak hanya diaplikasikan untuk korosi basah pada logam di suhu normal tetapi juga korosi kering suatu logam pada temperatur tinggi (Sharma, 2012).

Sebagian masyarakat mengartikan korosi sebagai *karat*, yaitu hal yang dianggap sebagai musuh yang merugikan bagi manusia. Karat (*rust*) adalah sebutan yang belakangan ini hanya dikhususkan bagi korosi pada besi. Sedangkan korosi merupakan gejala destruktif yang mempengaruhi hampir semua logam (Threthewey, 1991). Dapat dikatakan sebagai korosi jika terjadi kerusakan pada logam yang disebabkan oleh reaksi kimia (*chemical*) atau elektrokimia dengan lingkungannya (Supomo, 2003). Korosi juga dapat diartikan sebagai suatu hasil destruktif reaksi kimia antara logam atau paduan logam dengan lingkungannya. Korosi pada logam dibagi menjadi dua kelas yaitu basah dan kering. Pada korosi kering, kerusakan terjadi pada gas atau logam penghubung (*metal interface*) dan air tidak banyak mempengaruhi reaksi yang terjadi. Sedangkan pada korosi basah, korosi terjadi pada penghubungnya berupa logam atau larutan. Berdasarkan *American Society for Testing and Material's corrosion glossary*, korosi adalah reaksi kimia atau elektrokimia antara suatu materi berupa logam dengan lingkungannya yang mengakibatkan memburuknya kondisi logamnya (Cicek dkk., 2011). Korosi merupakan suatu proses elektrokimia sehingga proses

terjadinya korosi memerlukan beberapa syarat, diantaranya adanya anoda, katoda, larutan elektrolit/media, dan rangkaian listrik. Anoda dan katoda terdapat pada daerah-daerah permukaan logam yang terkorosi. Anoda merupakan daerah yang teroksidasi dengan melepaskan elektron dari atom logam netral dan menjadi ion logam yang membentuk produk korosi (bentuk teroksidasi) yang tidak dapat larut dalam media. Sedangkan daerah katoda merupakan daerah yang tereduksi dengan menangkap elektron hasil dari oksidasi logam.

2.2. Klasifikasi Korosi Logam

Terdapat berbagai jenis korosi pada permukaan logam. Tergantung dari bentuk morfologi korosi itu sendiri dan pengaruh mekanisme reaksi korosinya. Jenis korosi berdasarkan morfologi permukaan logamnya ditunjukkan pada Tabel 2.1 (Sastri, 2012).

Tabel 2.1 Klasifikasi Korosi pada Logam berdasarkan morfologi

No	Jenis Korosi	Keterangan
1.	Korosi general	Korosi galvanik
2.	Korosi Lokal	Korosi lubang, korosi celah, korosi lifiform
3.	Korosi akibat metalurgi	Korosi intergranular, sentisisasi, pengelupasan, paduan ulang
4.	Korosi akibat mikrobiologi	
5.	Korosi akibat pengaruh mekanik	Korosi
6.	Korosi akibat retakan	Stress korosi, retak

Sumber :Sastri, 2012

2.3. Termodinamika Korosi

Parameter termodinamika pada korosi dapat menentukan kespontanan reaksi korosi dari suatu logam. Penentuan kespontanan dapat dilihat dari nilai energi bebas Gibbs (ΔG°) yang bernilai negatif. Energi bebas Gibbs (ΔG°) sangat dipengaruhi oleh suhu. Dengan mengetahui nilai energi bebas Gibbs (ΔG°) nya, maka memudahkan dalam melihat pengaruh penambahan inhibitor yang diberikan. Sehingga dapat diketahui bagaimana mekanisme inhibitor dalam

melindungi permukaan logamnya. Energi bebas Gibbs (ΔG°) didapatkan dari persamaan sebagai berikut :

$$\Delta G_{\text{ads}}^\circ = -RT \ln(A \times K_{\text{ads}}) \quad (2.1)$$

Dimana R merupakan konstanta gas (8,31 J/mol.K), T adalah suhu (Kelvin), A merupakan konsentrasi air (55,5 ketika menggunakan satuan Molar dan 1000 ketika menggunakan satuan g/L) sedangkan K_{ads} merupakan konstanta adsorpsi yang didapatkan dari pengujian adsorpsi isothermal (Deng and Li, 2012; Hussin dkk., 2016; Mourya dkk., 2014a). Informasi dasar mengenai interaksi antara inhibitor dan permukaan logam dapat ditentukan melalui adsorpsi isothermalnya.

Rumusan yang dapat digunakan adalah sebagai berikut :

$$\text{Langmuir} : C_{\text{inh}}/\theta = 1/K_{\text{ads}} + C_{\text{inh}} \quad (2.2)$$

$$\text{Freundlich} : \log \theta = \log K + \log C \quad (2.3)$$

$$\text{Temkin} : \log (\theta/C) = \log K - g\theta \quad (2.4)$$

$$\text{Frumkin} : \log (\theta/(1-\theta)C) = \log K + g\theta \quad (2.5)$$

Dimana C merupakan konsentrasi inhibitor, K merupakan konstanta kesetimbangan dan θ merupakan permukaan yang tertutupi (Deng and Li, 2012; de Souza and Spinelli, 2009; El-Sherif and Badawy, 2011; Mourya dkk., 2014a).

Untuk mengetahui kinerja ekstrak TDA sebagai inhibitor korosi pada permukaan logam stainless steel 304, maka perlu dilakukan perhitungan parameter aktivasinya. Adapun parameter aktivasi yang dihitung adalah nilai energi aktivasi (E_a), entalpi (ΔH) dan entropi (ΔS) (Yaro dkk., 2013). Adapun persamaan Arrhenius dituliskan adalah sebagai berikut :

$$i_{\text{kor}} = A \exp \left(\frac{-E_a}{RT} \right) \quad (2.6)$$

$$\ln i_{\text{kor}} = \ln A - \left(\frac{E_a}{RT} \right)$$

$$\ln i_{\text{kor}} = \ln A - \left(\frac{E_a}{R} \right) \left(\frac{1}{T} \right)$$

$$i_{\text{kor}} = \frac{RT}{Nh} e^{\frac{\Delta S}{R}} e^{\frac{-\Delta H}{RT}} \quad (2.7)$$

$$\begin{aligned}\frac{i_{kor}}{T} &= \frac{R}{Nh} e^{\frac{\Delta S}{R}} e^{\frac{-\Delta H}{RT}} \\ \ln \left(\frac{i_{kor}}{T} \right) &= \ln \frac{R}{Nh} + \frac{\Delta S}{R} - \frac{\Delta H}{RT} \\ \ln \left(\frac{i_{kor}}{T} \right) &= \ln \frac{R}{Nh} + \frac{\Delta S}{R} - \left(\frac{\Delta H}{R} \right) \left(\frac{1}{T} \right)\end{aligned}$$

dimana i_{kor} adalah laju korosi baik pada blanko maupun pada penambahan inhibitor TDA. E_a merupakan energi aktivasi dan A adalah faktor pre-eksponensial Arrhenius dan R merupakan konstanta gas, sedangkan N merupakan konstanta Avogadro dan h adalah konstanta Plank (Muthukrishnan dkk., 2013.)

2.4. Kinetika Korosi

Reaksi elektrokimia selalu berhubungan dengan penggunaan dan pelepasan elektron. Oleh karena itu laju dari aliran elektron dari reaksi antar muka dapat digunakan dalam pengukuran laju reaksi. Aliran elektron dianggap sebagai arus dalam Amper, dimana 1-amper senilai 6.2×10^{18} elektron per detik. Hubungan antara I dan massa dalam reaksi elektrokimia sesuai dengan hukum Faraday (Jones, 1991). Kinetika korosi selalu berhubungan dengan laju korosi pada suatu logam atau paduan. Laju korosi dari tiap-tiap logam tidak sama, tergantung pada sifat bahan dan lingkungannya. Dalam suatu reaksi elektrokimia terjadi perpindahan elektron dari reduktor ke oksidator. Menurut hukum Faraday :

$$m = \frac{I t a}{n F} \quad (2.8)$$

dimana :

m = massa logam yang teroksidasi

I = arus yang digunakan

t = waktu yang diperlukan

a = berat molekul

n = jumlah elektron yang terlibat

F = bilangan Faraday

Banyaknya massa yang teroksidasi (m) disebabkan oleh reaksi dalam waktu tertentu (t) per satuan luas (A) akan menghasilkan laju korosi (r),

$$r = \frac{m}{tA} = \frac{ia}{nF} \quad (2.9)$$

Sehingga, laju korosi logam dengan adanya densitas (D) dapat dituliskan menjadi:

$$r = \frac{0,129 a i}{n D} \quad (\text{dalam mpy}) \quad (2.10)$$

Atau

$$r = \frac{0,00327 a i}{n D} \quad (\text{dalam mmpy}) \quad (2.11)$$

dimana D dalam g/cm^3 dan 0,129 dan 0,00327 merupakan suatu tetapan atau konstanta (Jones, 1991).

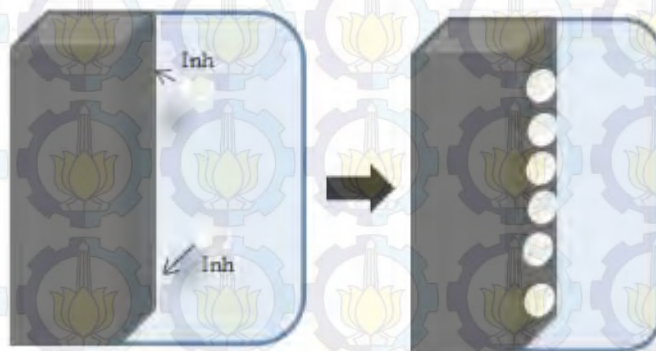
2.5. Inhibitor Korosi

Inhibitor korosi merupakan substansi yang ditambahkan dalam jumlah sedikit ke media korosi dan dapat menurunkan laju korosi suatu logam (Raja dan Sethuraman, 2008). Pengembangan penggunaan inhibitor telah dimulai dari tahun 1950. Penggunaan inhibitor sebagai metode pencegahan dan pengendalian korosi menjadi sangat populer karena selain efektif dan ekonomis, metode ini juga tidak menyebabkan kerusakan pada logamnya. Inhibitor korosi berguna untuk mencegah dan meminimalisir terjadinya korosi pada permukaan logam karena dapat membentuk lapisan tipis pada permukaan logamnya. Inhibitor korosi mengandung senyawa yang mudah teroksidasi. Mekanisme inhibitor dalam mencegah terjadinya korosi adalah sebagai berikut :

- Inhibitor akan teradsorpsi secara kimia (kemisorpsi) ke permukaan logam dan membentuk lapisan tipis penghalang akibat adanya kombinasi antara ion inhibitor dan permukaan logamnya.
- Inhibitor membentuk lapisan proteksi oksida di permukaan logam.
- Inhibitor akan bereaksi dengan komponen lain membentuk senyawa kompleks.

Jenis inhibitor korosi dapat diklasifikasi berdasarkan kandungan senyawa, mekanisme inhibisi, proteksi pada daerah katoda maupun anoda. Akan tetapi secara umum inhibitor korosi dibagi menjadi dua, yaitu inhibitor organik dan anorganik. Inhibitor organik melindungi katoda dan anoda karena teradsorpsi ke permukaan logam membentuk lapisan tipis pencegah korosi. Inhibitor mampu

membentuk lapisan tipis hidrofobik dan menyediakan lapisan penghalang antara logam dengan larutan elektrolit. Pada Gambar 2.1 mengilustrasikan bagaimana cara inhibitor melindungi permukaan logam pada lingkungan yang korosif. Inhibitor teradsorp pada permukaan logamnya membentuk lapisan tipis kasat mata yang melindungi logam dari proses korosi.



Gambar 2.1 Ilustrasi mekanisme kerja inhibitor organik (Dariva dkk, 2014)

Efisiensi dari inhibitor organik tergantung pada struktur kimia, ukuran molekul organik, ikatan rangkap terkonjugasi, panjangnya rantai karbon, tipe dan nomor ikatan tiap atom, jenis gugus yang dimiliki, kekuatan membentuk ikatan dengan permukaan logam, kemampuan lapisan penghalang membentuk cross-linked, dan jenis larutan elektrolitnya (Dariva dkk., 2014).

2.6. *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray

2.6.1. Klasifikasi dan Karakteristik

Tithonia diversifolia (Hemsl) A. Gray (TDA) merupakan tanaman dari spesies *Tithonia diversifolia* yang tumbuh liar di Afrika Timur. TDA berasal dari keluarga Bunga Matahari. Dalam bahasa Inggris tanaman ini terkenal dengan nama Mexican sunflower dan tree marigold. Berikut taksonomi dan tatanamannya :

Kerajaan	: Plantae (Tumbuhan)
Super Divisi	: Spermatophyta (Menghasilkan Biji)
Divisi	: Magnoliophyta (Tumbuhan Berbunga)
Kelas	: Magnoliopsida (Berkeping dua / dikotil)
Sub Kelas	: Asteridae
Ordo	: Asterales

Keluarga : Asteraceae

Marga : Tithonia

Jenis : *Tithonia diversifolia*

Nama lain : Kembang bulan, Rondo Semoyo, Harsaga, Kiriyu, Kayu Paik



Gambar 2.2 Tanaman *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray

Tanaman ini memiliki batang berkayu keras dengan ketinggian mencapai 3 meter. Daunnya menjari hingga 3-5 bagian dengan lebar mencapai 12 cm. Tanaman ini memiliki ciri khas dengan bunga cerah berwarna kuning seperti bunga matahari (Quattrocchi, 2012). Bunganya memiliki warna yang bervariasi, dari kuning hingga oranye cerah dengan diameter sekitar 2,5 sampai 6 inchi (Everett, 1982).

2.6.2. Kandungan *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray

Kandungan daun *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray (TDA) terdiri dari senyawa aktif seperti alkaloid, tannin, fenolik, coumarins, glycoside, sesquiterpen, diterpen, monoterpen dan senyawa alisiklik yang dapat diekstrak langsung dari daun, batang dan bunganya (Obafemi dkk., 2006). Dari ekstraksi tanaman *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray dengan menggunakan air, diketahui tanaman ini mengandung senyawa-senyawa seperti flavonoid, tannin, glikosida, terpenoid dan fenol. Sedangkan ekstraksi dengan menggunakan metanol menghasilkan indikasi tambahan kandungan lain pada tanaman ini seperti saponin dan alkaloid (Otusanya dkk., 2012). Adanya kandungan senyawa fenolik seperti

tannin, dan flavonoid menjadikan tanaman ini memiliki aktivitas farmakologi yaitu antioksidan (Gama dkk., 2014).

2.6.3. Manfaat daun *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray

Daunnya yang diseduh dengan air dapat dijadikan sebagai anti malaria di Negara Guatemala, Taiwan, Meksiko dan Nigeria. Daun dan batangnya digunakan sebagai obat penderita hepatitis di negara Taiwan dan penyakit Gastrointestinal disorder di Kenya dan Thailand. Selain sebagai sumber pengobatan tradisional, TDA digunakan sebagai anti insektisida, analgesik, anti inflamasi dan anti bakteri (Obafemi dkk., 2006). Tanaman ini dapat menyembuhkan penyakit malaria dan segala jenis demam, dapat menyembuhkan penyakit hematoma dan kram otot. Pemakaian bunganya dapat mengobati luka dan memar, sedang daunnya yang dihancurkan dapat mengobati demam. Daun tanaman ini ketika diseduh dan dipanaskan dapat menyembuhkan radang pada perut (Quattrocchi, 2012). Tanaman ini dikenal dengan nama Nitobegiku di Negara Cina, dikenal dengan obat herbal tradisional untuk penyakit diabetes (polyuria dan polydipsia). Terdapat aktivitas hypiglycemic dalam ekstrak cair Nitobegiku (Miura dkk., 2005). Kandungan anti-oksidan dari tanaman *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray dikarenakan adanya senyawa fenolik seperti flavonoid, asam fenolik dan fenolik diterpen yang dapat mencegah atau menghambat oksidasi lemak atau molekul lain melalui proses inisiasi atau propagasi reaksi rantai oksidative.

2.6.4. Penggunaan *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray sebagai Inhibitor Korosi

Tanaman *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray (TDA) merupakan spesies dari *Tithonia diversifolia*. Alaneme dkk (2012) telah memanfaatkan bagian batang dari tanaman *Tithonia diversifolia* sebagai inhibitor korosi pada logam paduan karbon dalam media asam sulfat. Alaneme mengekstrak batangnya dengan pelarut NaOH 15% dan menghasilkan ekstrak lignin yang memiliki gugus hidroksil (OH^-), oksigen dan cincin aromatik dan mampu menghambat korosi sebesar 78,8%. Dari metode pengurangan berat logam, terdapat perbedaan yang signifikan pada

penambahan ekstrak lignin. Penambahan ekstrak lignin dari konsentrasi 5, 7, 10, 12 dan 15 g/L menyebabkan meningkatnya adsorpsi dan penghalangan logam dengan medianya sehingga berpengaruh terhadap menurunnya laju korosi. Ekstrak lignin mampu menginhibisi korosi logam paduan karbon sebesar 78.8% (Alaneme dkk., 2012).

2.7. Logam Stainless Steel 304

Paduan besi dengan kandungan sedikitnya 10.5% Kromium disebut dengan stainless steel. Stainless steel diklasifikasikan menjadi beberapa kelas yaitu *ferritic*, *austenitic*, *duplex*, *martensitic*, dan *precipitation hardening*. Dimana setiap kelas tersebut memiliki karakteristik yang berbeda-beda (Jones, 1991). Logam stainless steel 304 merupakan logam yang banyak digunakan untuk barang-barang stainless steel. Jenis logam stainless steel 304 juga digunakan di industri perkapalan dan perpipaan (Jones, 1991). Logam stainless steel 304 termasuk dalam kelas *austenitic stainless steel*, penambahan Nikel pada paduan Besi-Kromium mampu menstabilkan dan meningkatkan tahanan logam ini terhadap korosi. Pada Tabel 2.2 dapat dilihat komposisi dari logam stainless steel 304 secara umum. Tahanan korosi logam ini, berasal dari pembentukan lapisan pasif di permukaannya, biasanya lapisan ini merupakan lapisan dupleks yang terdiri dari lapisan terluar berupa besi dan lapisan tipis kromium oksihidroksida serta lapisan dalam berupa kromium oksida (Ait Albrimi dkk., 2015; Jones, 1991). Walaupun logam ini memiliki jangka waktu yang panjang untuk mengalami korosi, tetapi logam ini bukan logam yang anti terhadap korosi. Komposisi kimia dari paduan Stainless Steel 304 ditunjukkan pada Tabel 2.2. Tipe logam Stainless Steel 304 merupakan logam yang banyak digunakan untuk menyimpan asam nitrat (Gandy dkk., 2011; Schweitzer, 2006).

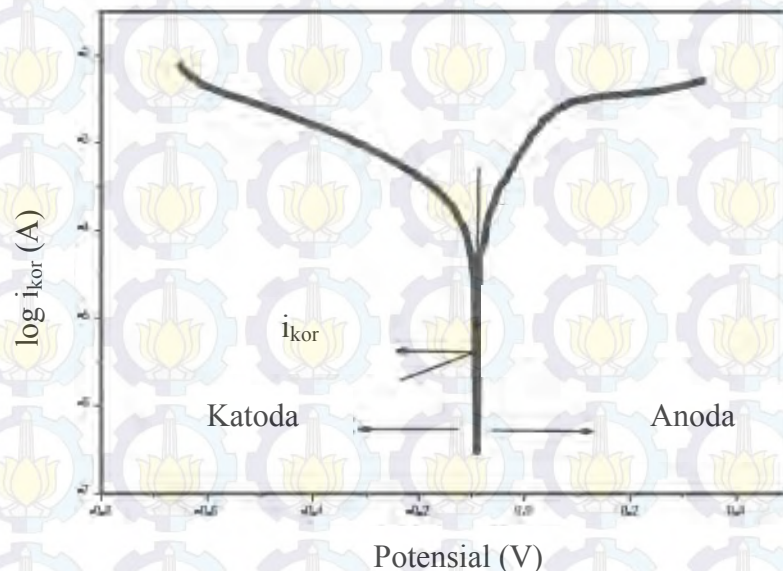
Tabel 2.2 Komposisi Logam Stainless Steel 304

Paduan	C	Si	Mn	Cr	Ni	Fe	W	Mo
SS 304	0.02	0.4	1.4	18.8	8.1	Balance	-	-

Sumber : Ait Albrimi, 2015

2.8. Metode Polarisasi Potensiodynamik

Metode polarisasi potensiodynamik ini merupakan salah satu bagian dari pengukuran elektrokimia. Metode ini menggunakan 3 jenis elektroda yaitu Elektroda pembanding berupa Ag/AgCl, elektroda bantu berupa platina dan elektroda kerja berupa spesimen logam Stainless Steel 304. Output yang dihasilkan berupa diagram Tafel pada Gambar 2.3 yang berarti berupa kurva polarisasi katoda dan anoda. Parameter yang dihasilkan berupa potensial korosi (E_{corr}), densitas arus korosi (i_{corr}) dengan melakukan ekstrapolasi pada diagram Tafel dan akan mengkonversi menjadi nilai laju korosi (C_r) (El-Haddad, 2013).

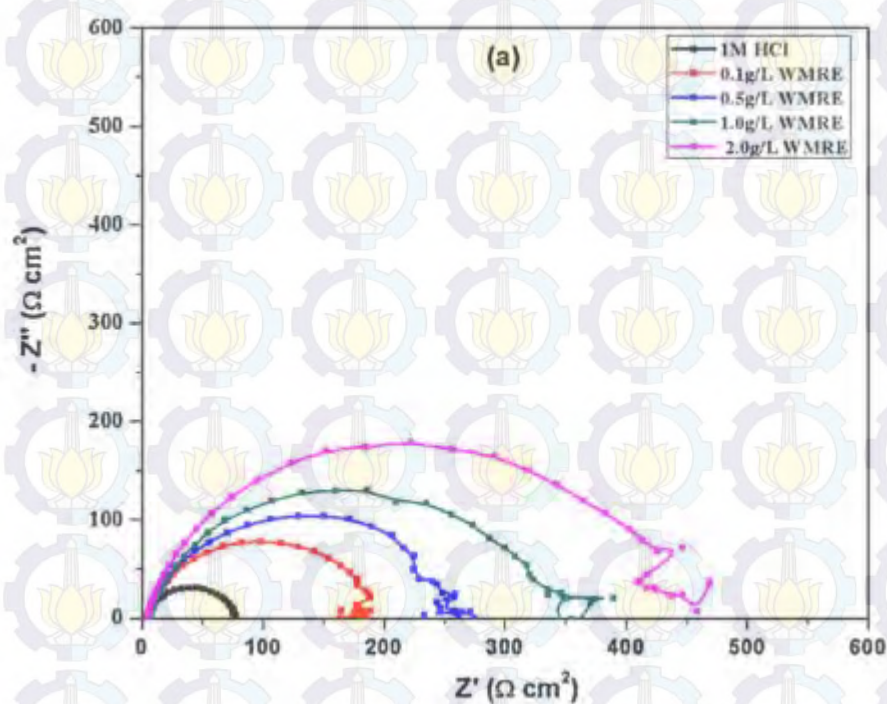


Gambar 2.3 Diagram Tafel (El-Haddad, 2013)

2.9. Metode Electrochemical Impedance Spectroscopy

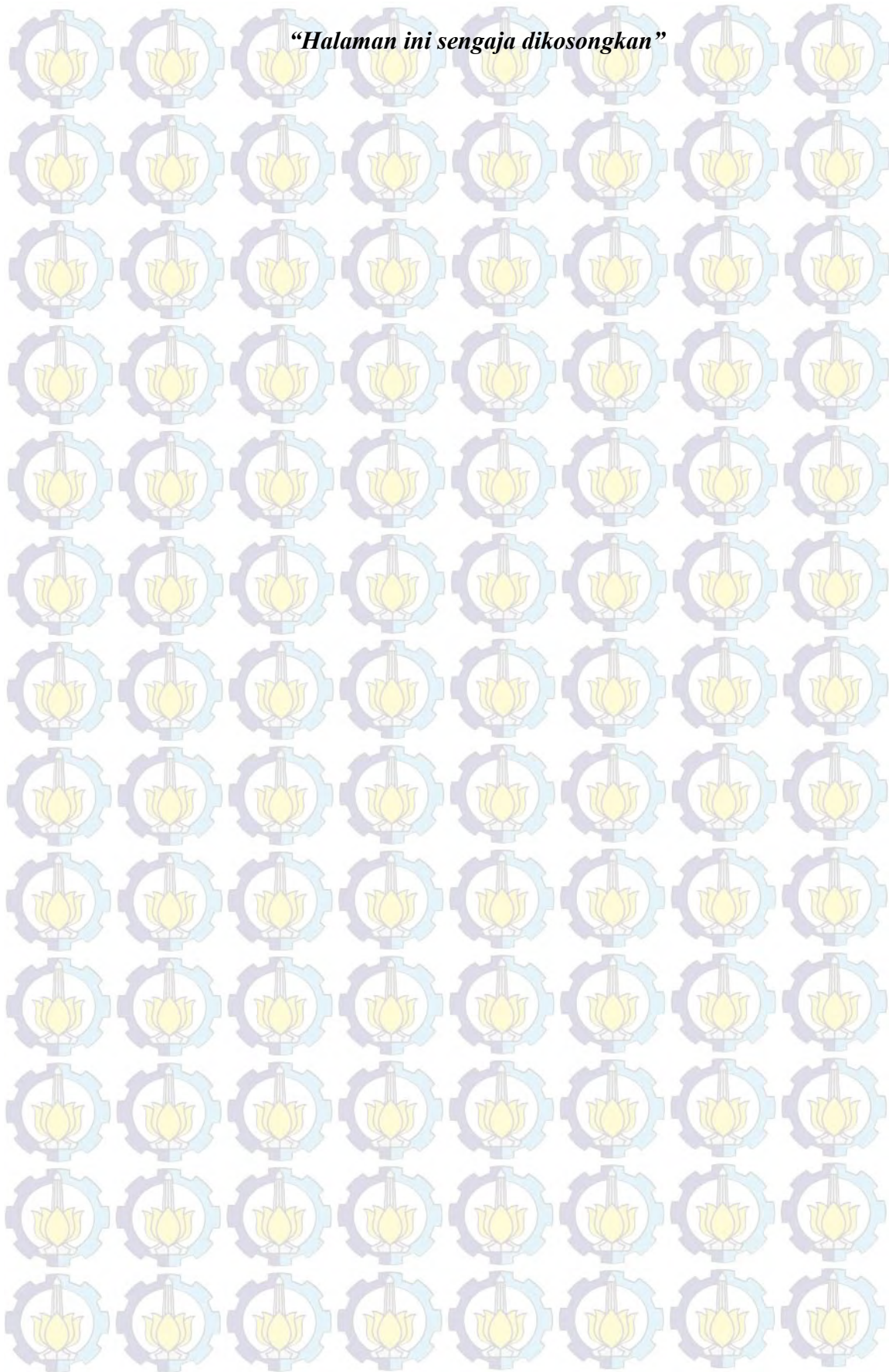
Metode spektroskopi impedansi elektrokimia ini merupakan salah satu bagian dari pengukuran elektrokimia. Pengujian dengan metode ini berguna untuk mengetahui proses inhibisi korosi dari pemberian hambatan maupun daya tahan dari hubungan logam dengan larutan (Mourya dkk., 2014). Metode ini

menggunakan 3 jenis elektroda yaitu elektroda pembanding berupa Ag/AgCl, elektroda bantu berupa platina dan elektroda kerja berupa spesimen logam Stainless Steel 304. Pengaturan yang dilakukan untuk pengukuran ini yaitu berupa frekuensi awal dan akhir serta amplitudonya dimana semua bagian ini menggunakan voltase AC pada potensial sirkuit terbuka. Output yang dihasilkan berupa diagram Nyquist (Gambar 2.4) yaitu respon impedansi dari logam yang diuji. Diagram yang berbentuk semi sirkular akan menunjukkan pengaruh dari adanya penambahan inhibitor yang diberikan. Keseluruhan diagram impedansi dianalisis berdasarkan sirkuit yang setara. Dengan kombinasi paralel dari R_{ct} , CPE, R_s , R_p (Mourya dkk., 2014). Plot diagram Nyquist dilakukan untuk mendapatkan parameter berupa Constant Phase Element (CPE), charge transfer resistant (R_{ct}), solution resistant (R_s) dan R_p (El-Haddad, 2013).



Gambar 2.4 Diagram Nyquist (Odewunmi, 2015)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Alat Dan Bahan

3.1.1. Alat

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari neraca analitis, Potensiostat Metrohm tipe AUT84948, spektrofotometer FTIR (Shimadzu-FTIR-8400S), *vacuum freeze dryer* (FD-1A-50 Series) dan *Scanning Electron Microscope* (FEI Inspect S50) dan peralatan gelas umum yaitu gelas beaker, gelas ukur, labu ukur, pipet ukur, corong kaca, kaca arloji, cawan petri, botol timbang, spatula, buret, erlenmeyer dan magnetik stirer.

3.1.2. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain daun *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray, logam Stainless Steel 304, HCl (Merck, 37%), Aseton, cat akrilik dan aqua DM.

3.2. Prosedur Kerja

3.2.1. Ekstraksi Daun *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray

Daun *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray (TDA) yang digunakan berasal dari perumahan Sutorejo. Daun TDA dicuci bersih dan dikeringkan pada suhu kamar hingga massa daun konstan. Kemudian daun kering dihaluskan menggunakan blender hingga halus. Serbuk daun yang telah halus ditimbang sebanyak 65,75 gram dan dilarutkan kedalam aqua DM sebanyak 800 ml yang telah dipanaskan pada suhu 90°C. Campuran daun dan akuades distirer selama 30 menit dan dihasilkan larutan berwarna coklat pekat, lalu disaring menggunakan Buchner. Filtrat yang didapatkan diuapkan hingga volume berkurang dan dihasilkan cairan ekstrak yang mengkristal, lalu di freeze dryer selama 24 jam. Ekstrak yang didapatkan ditampung dalam botol vial dan disimpan dalam desikator.

3.2.2. Karakterisasi FTIR Ekstrak *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray

Hasil ekstraksi daun *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray (TDA) dianalisis dengan menggunakan instrumen Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) (Shimadzu-FTIR-8400S). Ekstrak yang didapat, diambil sedikit dan dicampur dengan KBr. Lalu dibuat plat tipis dan dianalisis. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan informasi gugus yang terkandung didalam ekstrak TDA.

3.2.3. Pembuatan Media Korosi (HCl 1 M)

Larutan HCl 1 M dibuat dengan mengencerkan 82,90 ml HCl 37% dengan akuades sampai tanda batas dalam labu ukur 1000 ml . Larutan ini akan digunakan sebagai media korosi pada logam logam Stainless Steel 304.

3.2.4. Preparasi Spesimen Stainless Steel 304

Preparasi material ini berupa pemotongan logam Stainless Steel 304 dengan ukuran 4 cmx1 cm untuk pengujian EIS dan polarisasi potensiodinamik. Logam Stainless Steel 304 selanjutnya dilapisi dengan cat akrilik hingga bagian tersisa 1x1 cm² untuk pengukuran korosi. Luas permukaan 1 cm² diampelas terlebih dahulu lalu dibilas dengan akuades dan dibilas kembali dengan aseton kemudian dikeringkan dengan menggunakan tissue.

3.2.5. Pengujian dengan Metode Polarisasi Potensiodinamik

Metode ini dikerjakan dengan autolab Metrohm tipe AUT84948 dengan 3 elektroda. Elektroda banding berupa Ag/AgCl, elektroda bantu berupa platina dan elektroda kerja adalah spesimen logam Stainless Steel 304. Elektroda kerja, elektroda bantu, dan elektroda acuan dirangkai menjadi suatu sel dengan larutan elektrolit berupa media korosi yaitu Asam Klorida 1 M baik tanpa dan dengan pemberian inhibitor. Sistem yang sudah dirangkai tersebut kemudian dihubungkan dengan potensiostat dan komputer. Pengukuran korosi dilakukan dengan merendam elektroda kerja tanpa inhibitor (blanko) dan dengan penambahan inhibitor sebanyak lima variasi konsentrasi (2-4 g/L) pada suhu kamar (25°C).

Pengukuran polarisasi ini dilakukan *scan* dari -700 mV sampai +700 mV dengan *scan rate* 0.01 V/s.

Output dari pengukuran dengan metode polarisasi berupa kurva tafel yaitu plot antara potensial dengan arus. Kemudian dilakukan pengolahan data dengan mengekstrapolasi sehingga didapatkan parameter korosi berupa konstanta tafel anoda dan katoda (b_a dan b_c), potensial korosi (E_{kor}), arus korosi (i_{kor}) dan laju korosi (C_R). Kemudian dilakukan perhitungan efisiensi inhibisi dengan persamaan sebagai berikut :

$$EI\% = \frac{i_{kor} - i_{kor(inh)}}{i_{kor}} \times 100\%$$

Dimana i_{kor} merupakan arus korosi logam stainless steel 304 tanpa inhibitor (blanko) dan $i_{kor(inh)}$ merupakan arus korosi logam stainless steel 304 dengan inhibitor (Li dkk., 2012)

3.2.6. Pengujian dengan Metode EIS (*Electrochemical Impedance Spectroscopy*)

Metode ini dikerjakan dengan autolab Metrohm tipe AUT84948 dengan 3 elektroda. Elektroda pembanding berupa Ag/AgCl, elektroda bantu berupa platina dan elektroda kerja adalah spesimen logam Stainless Steel 304. Elektroda kerja, elektroda bantu, dan elektroda pembanding dirangkai menjadi suatu sel dengan larutan elektrolit berupa media korosi yaitu Asam Klorida 1 M baik tanpa dan dengan pemberian inhibitor. Sistem yang sudah dirangkai tersebut kemudian dihubungkan dengan potensiostat dan komputer. Kemudian diatur frekuensinya awalnya 100 kHz dan frekuensi akhirnya 0,1 Hz dengan amplitudo sebesar 0.0001A. Pengukuran korosi dilakukan seperti pada metode polarisasi yaitu dengan merendam elektroda kerja, elektroda banding dan elektroda bantu ke dalam media korosi tanpa penambahan inhibitor (blanko) dan dengan penambahan inhibitor dengan variasi konsentrasi TDA (2-4 g/L) dan pengukuran dilakukan pada suhu kamar.

Output yang dihasilkan berupa kurva Nyquist, dan dilakukan perhitungan efisiensi inhibisi (%EI) dengan persamaan sebagai berikut :

$$\%EI \frac{R_{ct(inh)} - R_{ct}}{R_{ct(inh)}} \times 100\%$$

Dimana $R_{ct(inh)}$ adalah tahanan transfer muatan pada logam stainless steel 304 dengan penambahan inhibitor dan R_{ct} adalah tahanan transfer muatan pada logam stainless steel tanpa penambahan inhibitor (blanko) (Li dkk., 2012).

3.2.7. Pengujian dengan Metode Polarisasi Potensiodinamik pada Variasi Suhu

Metode ini dikerjakan dengan autolab Metrohm tipe AUT84948 dengan 3 elektroda. Elektroda banding berupa Ag/AgCl, elektroda bantu berupa platina dan elektroda kerja adalah spesimen logam Stainless Steel 304. Elektroda kerja, elektroda bantu, dan elektroda acuan dirangkai menjadi suatu sel dengan larutan elektrolit berupa media korosi yaitu Asam Klorida 1M baik tanpa dan dengan pemberian inhibitor. Sistem yang sudah dirangkai tersebut kemudian dihubungkan dengan potensiostat dan komputer. Setelah diperoleh konsentrasi optimum di suhu kamar (25°C), maka dilakukan pengujian kembali dengan variasi suhu 35, 45, 55, dan 65°C. Pengukuran polarisasi ini dilakukan *scan* dari -700 mV sampai +700 mV dengan *scan rate* 0.01 V/s.

Output dari pengukuran dengan metode polarisasi berupa kurva tafel yaitu plot antara potensial dengan arus. Kemudian dilakukan pengolahan data dengan mengekstrapolasi sehingga didapatkan parameter korosi berupa konstanta tafel anoda dan katoda (b_a dan b_c), potensial korosi (E_{kor}), arus korosi (i_{kor}) dan laju korosi (C_R). Kemudian dilakukan perhitungan efisiensi inhibisi dengan persamaan sebagai berikut :

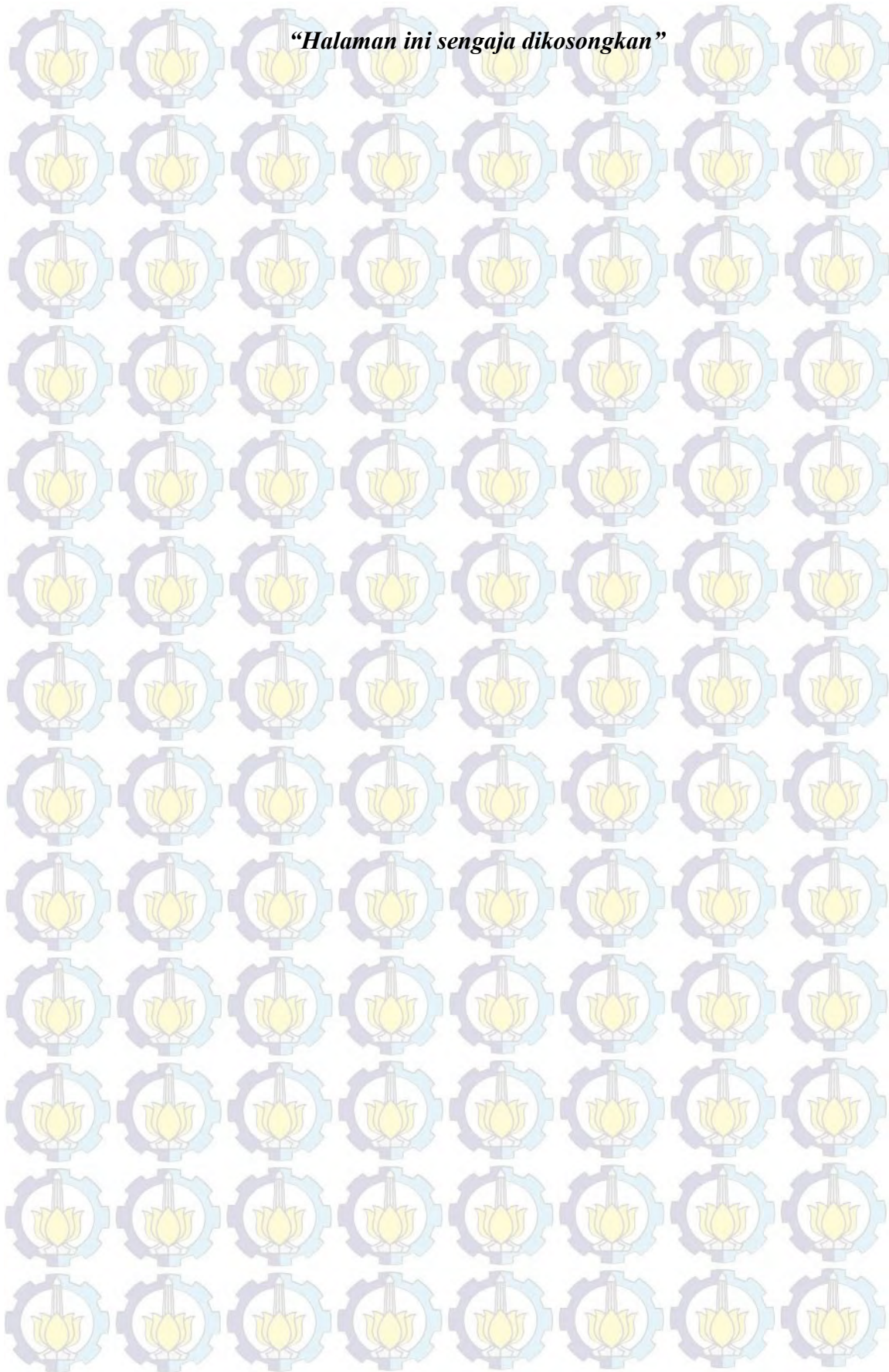
$$EI\% = \frac{i_{kor} - i_{kor(inh)}}{i_{kor}} \times 100\%$$

Dimana i_{kor} merupakan arus korosi logam stainless steel 304 tanpa inhibitor (blanko) dan $i_{kor(inh)}$ merupakan arus korosi logam stainless steel 304 dengan inhibitor (Li dkk., 2012).

3.2.8. Analisis Permukaan Logam Stainless Steel 304

Permukaan logam yang telah diuji korosi baik dengan dan tanpa perendaman pada inhibitor dianalisis dengan menggunakan instrument SEM (*Scanning Electron Microscope*). Ketiga logam diberi perlakuan yang sama-sama diampelas bagian permukaan dengan luasan 1x1 cm. kemudian keduanya direndam pada kondisi yang berbeda, logam pertama direndam pada media HCl 1 M tanpa diberi inhibitor dan logam kedua dengan penambahan 3,5 g/L TDA selama 3 minggu. Kemudian diuji permukaannya dengan instrument SEM (*Scanning Electron Microscope*).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

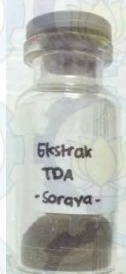


BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Ekstraksi Daun *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray

Ekstrak daun *Tithonia diversifolia* A. Gray (TDA) yang dihasilkan dari teknik maserasi menggunakan pelarut air berupa serbuk berwarna coklat kehitaman. Ekstrak yang diperoleh berasal dari maserasi 65,57 gram daun TDA yang telah halus dan dilarutkan kedalam 800 ml akuades yang telah dipanaskan hingga 90 °C kemudian distirer selama 30 menit.



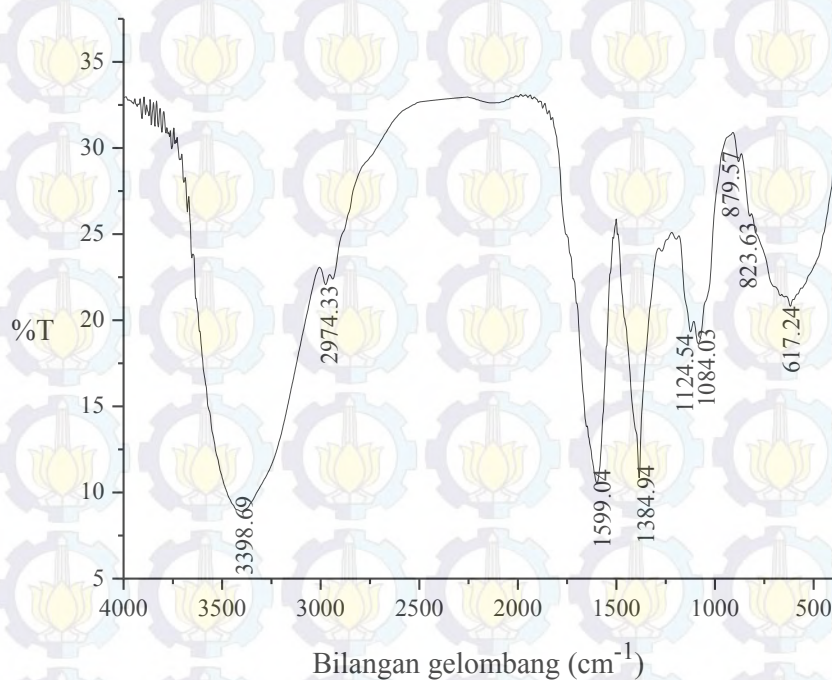
Gambar 4.1 Ekstrak *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray

Selanjutnya disaring dan didapatkan larutan coklat bening dan di uapkan hingga didapatkan cairan kental berwarna coklat tua, kemudian dimasukkan kedalam freeze dryer dan didapatkan kerak ekstrak berwarna coklat dan ditampung dalam botol vial seperti pada Gambar 4.1. Dari massa daun seberat 65,57 gram daun yang diekstrak, didapatkan ekstrak sebanyak 5,3184 gram.

4.2. Karakterisasi FTIR Ekstrak *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray

Ekstrak berwarna coklat kehitaman tersebut dikarakterisasi dengan menggunakan instrumen FTIR guna mengetahui komposisi apa saja yang terkandung didalamnya. Spektra ekstrak daun TDA ditunjukkan pada Gambar 4.2. Dari spektra yang dihasilkan, dapat dilihat bahwa ekstrak daun TDA memiliki beberapa gugus yang diperkirakan merupakan senyawa yang memiliki gugus fungsi berupa gugus hidroksil (O-H) pada bilangan gelombang 3398,69 cm^{-1} yang ditunjukkan dengan puncak yang melebar, penguat lainnya berupa adanya gugus

C-O pada bilangan gelombang 1124,54 cm^{-1} dan keduanya menunjukkan adanya gugus alkohol yang diasumsikan sebagai senyawa fenolik. Terdapat puncak bercabang yang menunjukkan adanya gugus alkana (C-H stretch) pada bilangan gelombang 2974,33 cm^{-1} . Hal ini juga diperkuat dengan adanya serapan pada bilangan gelombang 1384,94 cm^{-1} yang menunjukkan adanya C-H bending. Serapan lain berupa adanya gugus C=C pada bilangan gelombang 1599,04 cm^{-1} .



Gambar 4.2 Spektra FTIR Ekstrak *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray

4.3. Pengujian dengan Metode Polarisasi Potensiodinamik

Untuk mengetahui pengaruh ekstrak daun TDA sebagai inhibitor korosi pada logam stainless steel 304, maka digunakanlah metode polarisasi potensiodinamik. Dimana pada metode ini akan dilakukan pengujian penggunaan ekstrak daun TDA dengan berbagai variasi konsentrasi. Variasi konsentrasi ekstrak daun TDA yang digunakan yaitu dari 2 g/L; 2,5 g/L; 3 g/L; 3,5 g/L dan 4 g/L yang dilarutkan pada media korosinya berupa HCl 1 M. Adapun hasil dari pengujian dengan menggunakan metode polarisasi potensiodinamik berupa kurva polarisasi yang akan diekstrapolasi sehingga menghasilkan data berupa parameter

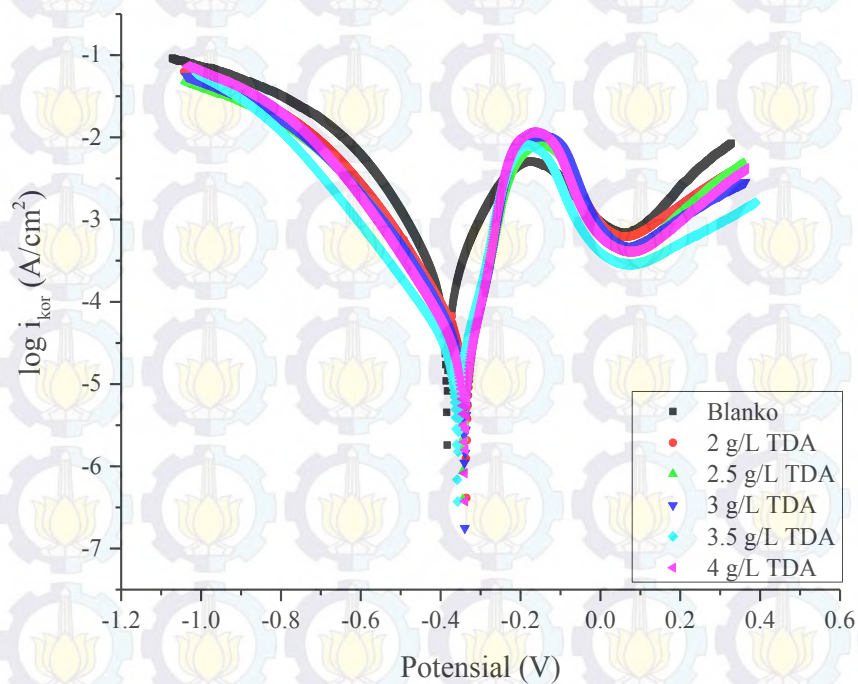
elektrokimia yaitu konstanta tafel anoda dan katoda (b_a dan b_c), potensial korosi (E_{kor}), arus korosi (i_{kor}) dan laju korosi (C_R). seluruh pengujian ini dilakukan pada suhu ruang.

Kurva polarisasi potensiodinamik pada logam stainless steel 304 baik tanpa dan dengan penambahan inhibitor di berbagai variasi konsentrasi TDA ditunjukkan pada Gambar 4.3. Dari kurva polarisasi yang didapatkan, dapat terlihat dengan cukup jelas bahwa dengan meningkatnya konsentrasi ekstrak daun TDA menyebabkan semakin menurunnya laju korosi pada logam stainless steel 304. Akan tetapi penurunan laju korosi logam stainless steel 304 berakhir pada penambahan ekstrak daun TDA di 3,5 g/L. Penambahan ekstrak daun TDA sebanyak 4 g/L menyebabkan laju korosi logam stainless steel 304 lebih cepat. Meningkatnya konsentrasi inhibitor diatas 3,5 g/L menyebabkan menurunnya kemampuan proteksi korosi pada logam. Hal ini dikarenakan adanya pelepasan kembali lapisan proteksi korosi dari inhibitor pada permukaan logam menuju larutan (media korosinya berupa HCl 1 M) dan karena pemberian jumlah konsentrasi yang mendekati atau melebihi konsentrasi kritis (Hussin dan Kassim, 2011). Hal ini mengindikasikan bahwa ketika penambahan inhibitor sebanyak 4 gram/L justru menarik lapisan pelindung pertama dipermukaan logam stainless steel sehingga menyebabkan lepasnya beberapa lapisan pelindung dan meningkatkan laju korosinya (Kurniawan dan Madurani, 2015).

Setelah dilakukan ekstrapolasi pada kurva polarisasi potensiodinamiknya, maka didapatkan parameter-parameter korosi yang ditunjukkan pada Tabel 4.1. Penurunan arus korosi (i_{kor}) sebanding dengan penurunan laju korosi pada logam stainless steel 304. Jika dilihat pada nilai potensial korosinya (E_{kor}), pada penambahan inhibitor terjadi perubahan nilai potensial korosi yang bergeser kearah lebih positif dibandingkan dengan nilai potensial korosi pada blanko. Pada logam stainless steel 304 menunjukkan bahwa inhibitor dari ekstrak daun TDA merupakan inhibitor tipe campuran. Hal ini jika dilihat dari perbedaan terbesar antara E_{kor} pada blanko dengan E_{kor} pada penambahan inhibitor sebesar 26,32 mV, sehingga dapat dikatakan bahwa inhibitor dari ekstrak daun TDA merupakan inhibitor tipe campuran. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dikemukakan oleh Hussin dkk (2011) bahwa ketika perbedaan E_{kor} kurang dari 85 mV, maka

inhibitor tipe campuran (Hussin dan Kassim, 2011). Satapathy juga menjelaskan bahwa penentuan klasifikasi inhibitor tipe katoda atau anoda jika perbedaan potensial korosinya melebihi 85 mV, sedangkan jika perbedaan potensial korosinya kurang dari 85 mV, maka inhibitor dari ekstrak TDA dapat diklasifikasikan sebagai inhibitor tipe campuran (Satapathy dkk., 2009).

Nilai konstanta tafel katoda (b_c) pada penambahan inhibitor tidak merubah nilainya secara signifikan. Berdasarkan penelitian Soltani dkk (2014), tidak signifikkannya perubahan ini menunjukkan bahwa penambahan inhibitor TDA pada larutan HCl 1M tidak merubah/mengganggu mekanisme evolusi hidrogen dan proses reduksi ion H^+ pada permukaan logam stainless steel 304. Akan tetapi dapat terlihat adanya perubahan secara signifikan pada konstanta tafel anoda (b_a) yang secara keseluruhan mengalami penurunan. Dapat diartikan bahwa perubahan secara signifikan pada konstanta tafel anoda (b_a) karena adanya proses adsorpsi inhibitor pada permukaan logam stainless steel 304 (Soltani dkk., 2014). Nilai efisiensi inhibisi pada logam stainless steel mengalami peningkatan hingga pada penambahan variasi konsentrasi ekstrak TDA sebesar 3,5 g/L. Dimana efisiensi inhibisi yang dihasilkan secara berurutan yaitu 77,27; 79,82; 80,87; 80,98 dan 79,45%.



Gambar 4.3 Kurva polarisasi SS 304 dalam HCl 1 M dengan variasi konsentrasi inhibitor

Tabel 4.1 Parameter Polarisasi Potensiodinamik SS 304 dalam HCl 1M dengan variasi konsentrasi inhibitor

Konsentrasi (g/L)	b_a (mV/dec)	b_c (mV/dec)	E_{kor} (mV)	j_{kor} ($\mu A/cm^2$)	i_{kor} (μA)	C_R (mmpy)	EI%
0	982.240	74.666	-384.060	109.830	109.830	1.27620	-
2	956.060	600.662	-335.650	24.962	24.962	0.29006	77.27
2.5	982.970	687.150	-344.210	22.160	22.160	0.25750	79.82
3	102.140	634.550	-339.500	21.004	21.004	0.24407	80.87
3.5	131.570	723.460	-357.740	20.884	20.884	0.24267	80.98
4	136.150	701.960	-339.540	22.565	22.565	0.26220	79.45

4.4. Pengujian dengan Metode EIS (*Electrochemical Impedance Spectroscopy*)

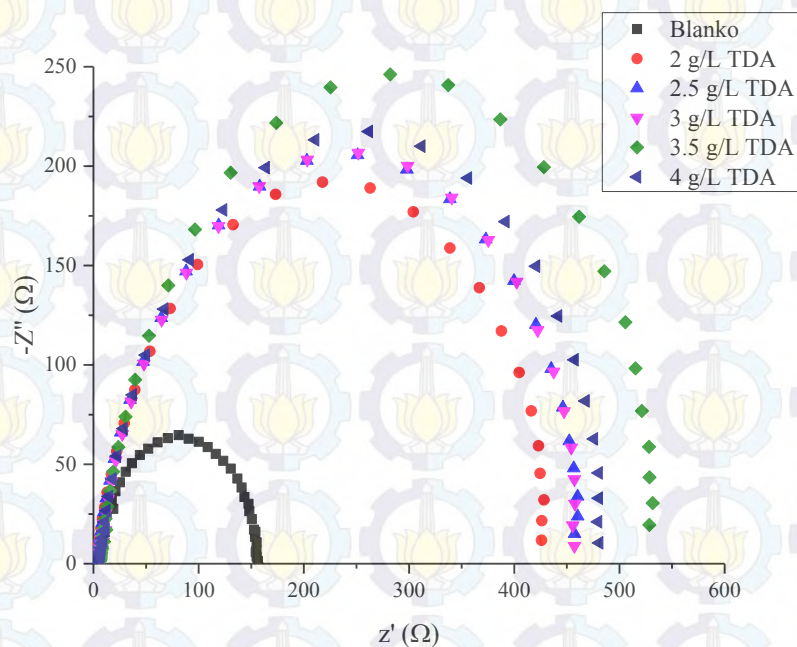
Proses korosi pada logam stainless steel 304 baik tanpa dan dengan penambahan inhibitor TDA juga diteliti dengan menggunakan metode

Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS). Pengujian dengan metode ini memberikan informasi yang cukup penting mengenai sifat permukaan, kinetik dan mekanisme dari proses inhibisi korosi yang didasarkan pada karakteristik kapasitif pada permukaan logam atau antarmuka pada larutan (Mourya dkk., 2014). Data *impedance* didapatkan dari plotting kurva Nyquist seperti pada Gambar 4.4. Bentuk plot Nyquist yang dihasilkan berupa satu semicircle kapasitif pada frekuensi tertentu.

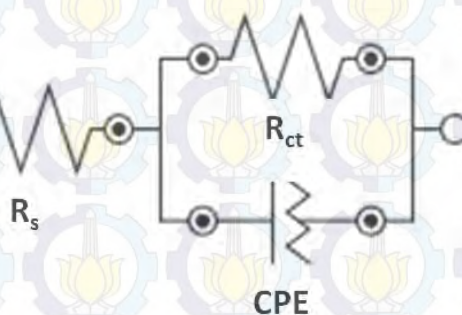
Parameter elektrokimia yang didapatkan dari plot Nyquist antara lain tahanan transfer muatan (R_{ct}), tahanan larutan, dan CPE atau *Constant Phase Element* yang lebih sering disebut kapasitas *double layer*. Pada Gambar 4.4, bentuk semi sirkuler baik pada blanko maupun pada saat penambahan inhibitor dengan variasi konsentrasi, tidak ada perbedaan bentuk. Hal ini dapat memberikan informasi penting, bahwa mekanisme terjadinya korosi antara keduanya sama. Akan tetapi jika dilihat dari ukuran diameter semi sirkuler, maka terdapat perbedaan ukuran. Semakin bertambahnya konsentrasi inhibitor TDA yang diberikan, maka akan menghasilkan diameter yang semakin besar. Dengan batas penambahan variasi konsentrasi sebesar 3,5 g/L. Akan tetapi pada variasi konsentrasi sebesar 4 g/L kembali mengalami penurunan diameter semi sirkuler. Meningkatnya diameter plot Nyquist mengindikasikan semakin kuatnya lapisan inhibitive dari ekstrak TDA. Diameter untuk semisirkuler blanko memiliki ukuran yang paling kecil dibandingkan dengan semisirkuler yang diberi penambahan inhibitor. Diameter semisirkuler yang didapat juga berkesinambungan dengan hambatan polarisasinya begitu pula dengan laju korosinya. Semakin besar diameter sirkuler menunjukkan semakin rendahnya laju korosi yang terjadi (Medrano-Vaca dkk., 2008).

Mekanisme inhibisi dari ekstrak TDA terjadi akibat adanya transfer muatan antara inhibitor dengan permukaan logam. Semakin besar variasi konsentrasi inhibitor yang diberikan, maka semakin besar pula tahanan transfer muatannya seperti yang tertera pada Tabel 4.2. Nilai efisiensi inhibisi maksimal sebesar 72,94% yaitu pada penambahan konsentrasi inhibitor sebanyak 3,5 g/L dan menurun pada penambahan konsentrasi inhibitor sebesar 4 g/L menjadi 69,75%. Pola yang dihasilkan dari pengujian dengan menggunakan metode EIS

sama dengan pola pengujian dengan metode polarisasi potensiodinamik. Pada Gambar 4.5 merupakan sirkuit ekuivalen dari diagram EIS yang dihasilkan.



Gambar 4.4 Plot Nyquist SS 304 dalam HCl 1 M dengan variasi konsentrasi inhibitor



Gambar 4.5 Sirkuit ekuivalen pada diagram EIS

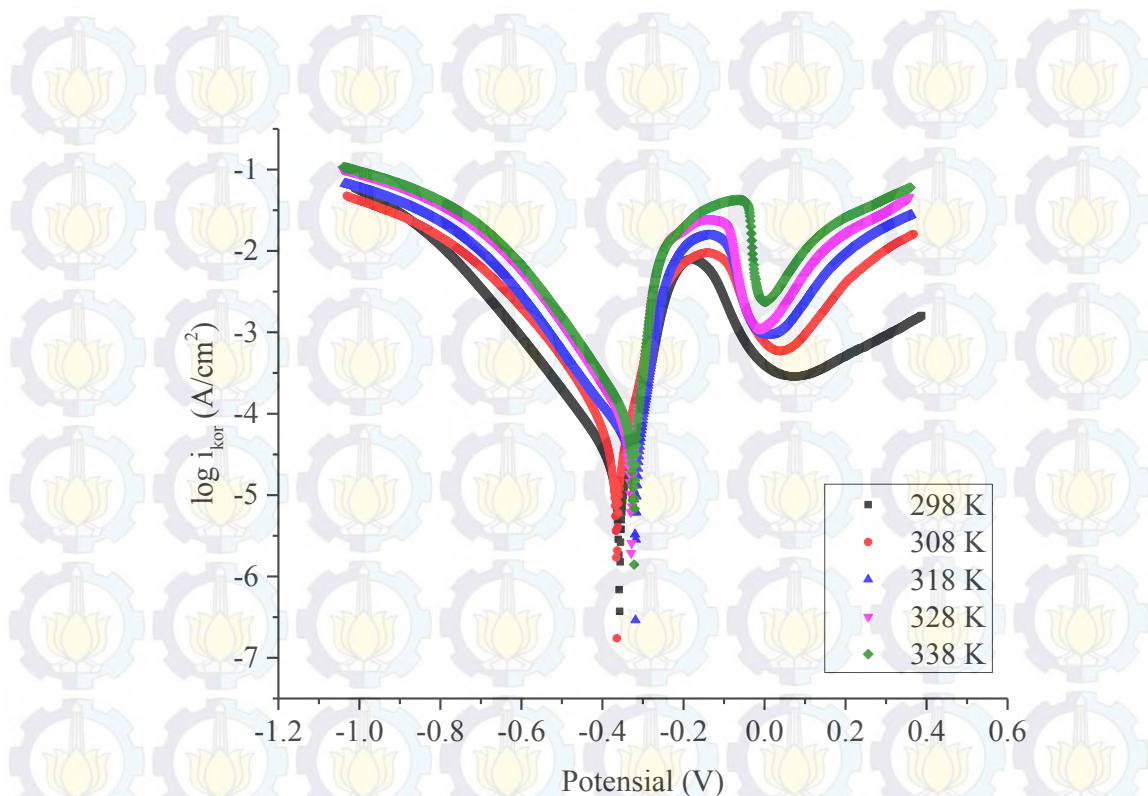
Tabel 4.2 Parameter Impedansi SS 304 dalam HCl 1M dengan variasi konsentrasi inhibitor

Konsentrasi (g/L)	R_{ct}	R_s	CPE	%EI
0	146.860	6.7629	141.250	-
2	431.910	8.4714	129.720	65.99
2.5	461.540	8.4391	108.290	68.18
3	467.640	9.6506	109.350	68.56
3.5	542.890	12.5250	100.340	72.94
4	485.580	10.8850	105.740	69.75

4.5. Pengujian dengan Metode Polarisasi Potensiodinamik pada Variasi Suhu

Suhu merupakan salah satu parameter penting dalam mempelajari korosi pada suatu logam. Suatu logam yang berada pada media asam tentu akan memiliki laju korosi. Meningkatnya suhu pada sistem/lingkungan dapat meningkatkan pula laju korosinya. Hal ini dikarenakan adanya penurunan overpotensial dari evolusi hidrogen (de Souza dan Spinelli, 2009). Dengan menggunakan persamaan Arrhenius, maka dilakukan pengujian terhadap pengaruh suhu terhadap kinerja ekstrak daun TDA sebagai inhibitor pada logam stainless steel 304.

Pengaruh suhu pada laju korosi logam stainless steel 304 dalam media HCl 1M diuji pada logam stainless steel 304 tanpa dan dengan penambahan konsentrasi inhibitor TDA sebesar 3,5 gram/liter. Output yang dihasilkan berupa diagram tafel pada Gambar 4.6. Hal ini dikarenakan pada konsentrasi 3,5 gram/liter yang memberikan efisiensi inhibisi terbesar. Variasi temperatur yang digunakan dari 25, 35, 45, 55 dan 65°C. Dapat dilihat pada Tabel 4.3, bahwa semakin meningkatnya suhu maka meningkat pula laju korosinya, baik tanpa dan dengan penambahan inhibitor. Akan tetapi, nilai efisiensi inhibisi ekstrak TDA semakin meningkat dengan meningkatnya suhu. Efisiensi inhibisi tertinggi mencapai 98,48% dengan penambahan inhibitor TDA sebesar 3,5 gram/liter pada temperatur tertinggi yaitu 65°C. Meningkatnya nilai efisiensi inhibisi TDA dengan meningkatnya suhu menunjukkan kinerja inhibitor TDA yang semakin meningkat dalam menurunkan laju korosi pada logam stainless steel 304 dalam media HCl 1 M.



Gambar 4.6 Kurva polarisasi SS 304 dalam HCl 1 M dengan variasi suhu

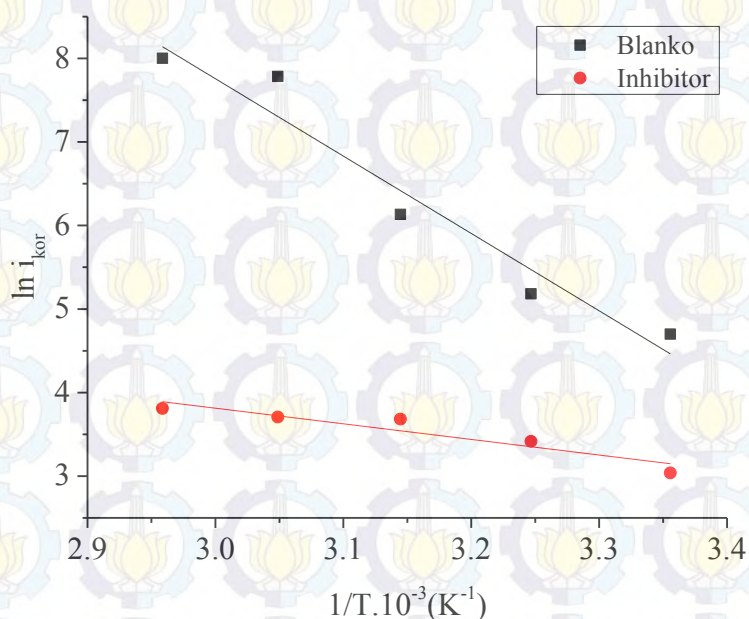
Tabel 4.3 Parameter polarisasi potensiodinamik SS 304 dalam HCl 1 M pada variasi suhu

Suhu (°C)	Konsentrasi (g/L)	b_a (mV/dec)	b_c (mV/dec)	E_{kor} (mV)	J_{kor} ($\mu A/cm^2$)	i_{kor} (μA)	C_R (mmpy)	EI%
25	0	98.2240	74.6660	-384.0600	109.8300	109.8300	1.2762	-
	3.5	131.5700	72.3460	-357.7400	20.8840	20.8840	0.2427	80.98
35	0	109.9700	76.1590	-374.3700	177.9300	177.9300	2.0675	-
	3.5	90.4330	69.8160	-364.4800	30.4730	30.4730	0.3541	82.87
45	0	203.0300	77.3400	-359.2400	460.7900	460.7900	5.3544	-
	3.5	160.3500	39.4720	-318.3500	39.7610	39.7610	0.4620	91.37
55	0	172.9700	75.6750	-374.0000	2403.0000	2403.0000	27.9230	-
	3.5	76.6530	32.2640	-328.3700	40.7370	40.7370	0.4734	98.30
65	0	387.4100	125.8200	-357.3200	2985.3000	2985.3000	34.6890	-
	3.5	82.3280	23.6440	-321.7800	45.1400	45.1400	0.5245	98.48

Agar dapat mengetahui bagaimana kinerja dari ekstrak TDA sebagai inhibitor pada permukaan logam, maka dilakukan perhitungan untuk mendapatkan parameter aktivasi. Adapun parameter aktivasi yang dihitung adalah nilai energi

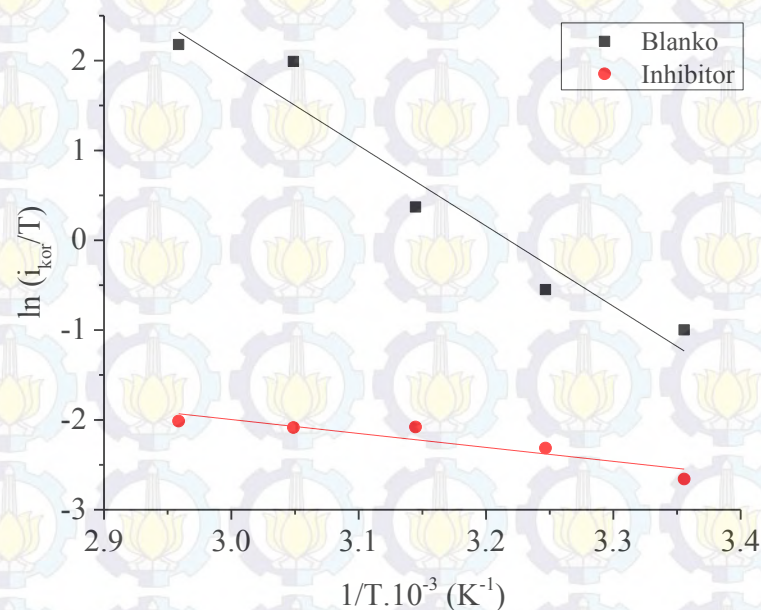
aktivasi (E_a), entalpi (ΔH) dan entropi (ΔS) (Yaro dkk., 2013). Dengan mengikuti persamaan Arrhenius, maka didapatkan kurva antara $1/T$ dengan $\ln i_{kor}$ seperti pada Gambar 4.7. Persamaan Arrhenius selengkapnya dapat dilihat pada persamaan 2.6.

Penentuan nilai E_a didapatkan dari nilai slope dari persamaan linear yang didapatkan. Didapatkan dua kurva regresi linear antara blanko dan penambahan inhibitor seperti pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Plot Arrhenius $\ln i_{kor}$ vs $1/T$ dalam HCl 1 M

Maka dengan membuat kurva antara $1/T$ dan $\ln \left(\frac{i_{kor}}{T} \right)$ akan didapatkan pula garis lurus seperti pada Gambar 4.8. Dari persamaan linear yang didapat, maka dapat dihitung berapa nilai energi entalpi dan entropinya. Penentuan nilai entalpi didapatkan dari kemiringan persamaan linear yang diperoleh, sedangkan nilai entropinya dapat dihitung dari *intercept* persamaan linear yang diperoleh.



Gambar 4.8 Plot Arrhenius $\ln i_{corr}/T$ vs $1/T$ dalam HCl 1 M

Dari perhitungan yang telah dilakukan, maka didapatkan parameter aktivasi baik tanpa dan dengan penambahan inhibitor TDA pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Parameter aktivasi E_a , ΔH dan ΔS tanpa dan dengan inhibitor

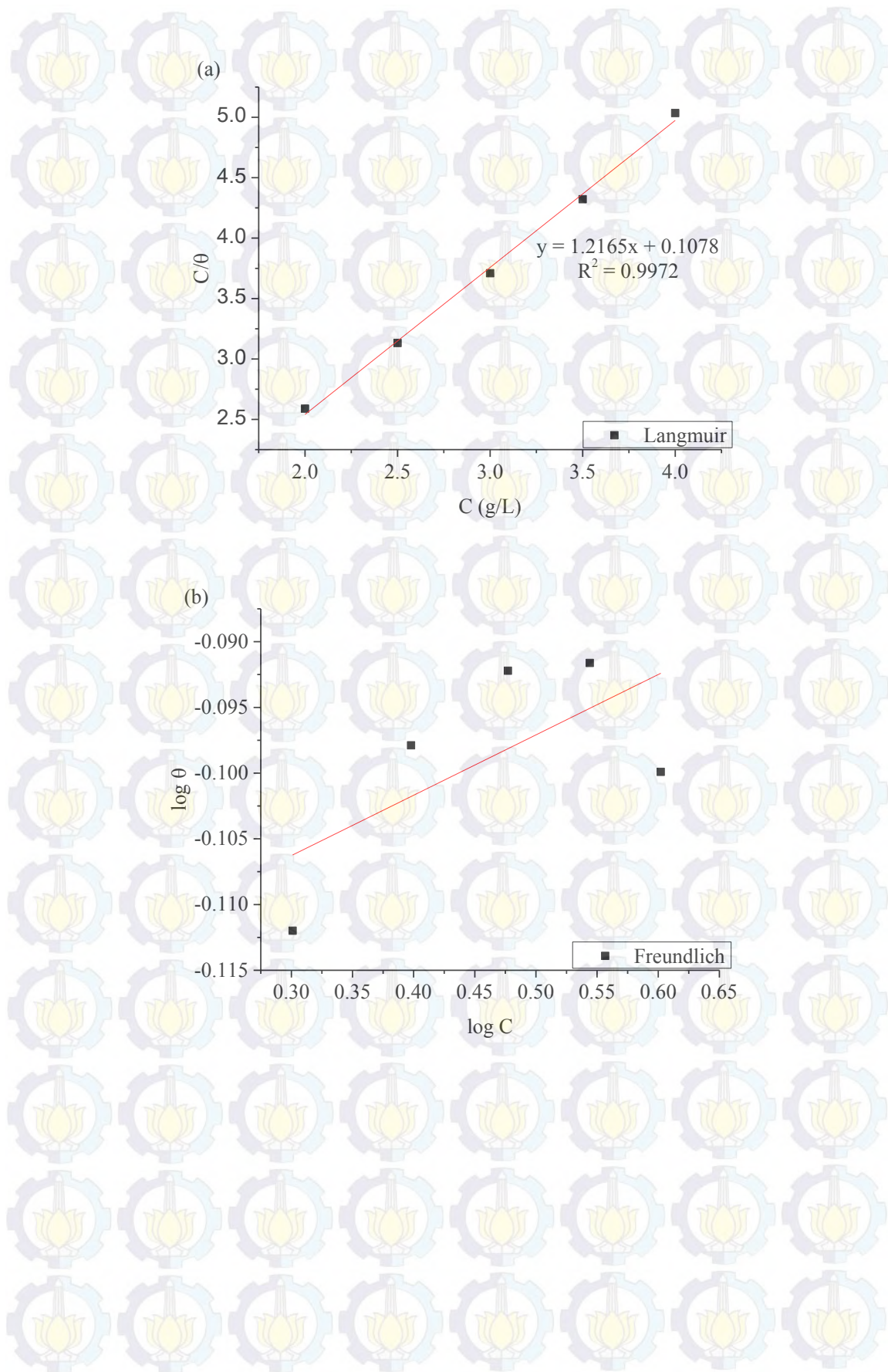
Sistem	E_a (kJ/mol)	ΔH (kJ/mol)	ΔS (J/mol)
Blanko (1M HCl)	76,94	74,31	41,86
Inhibitor (3,5 g/L)	15,53	12,89	-175,341

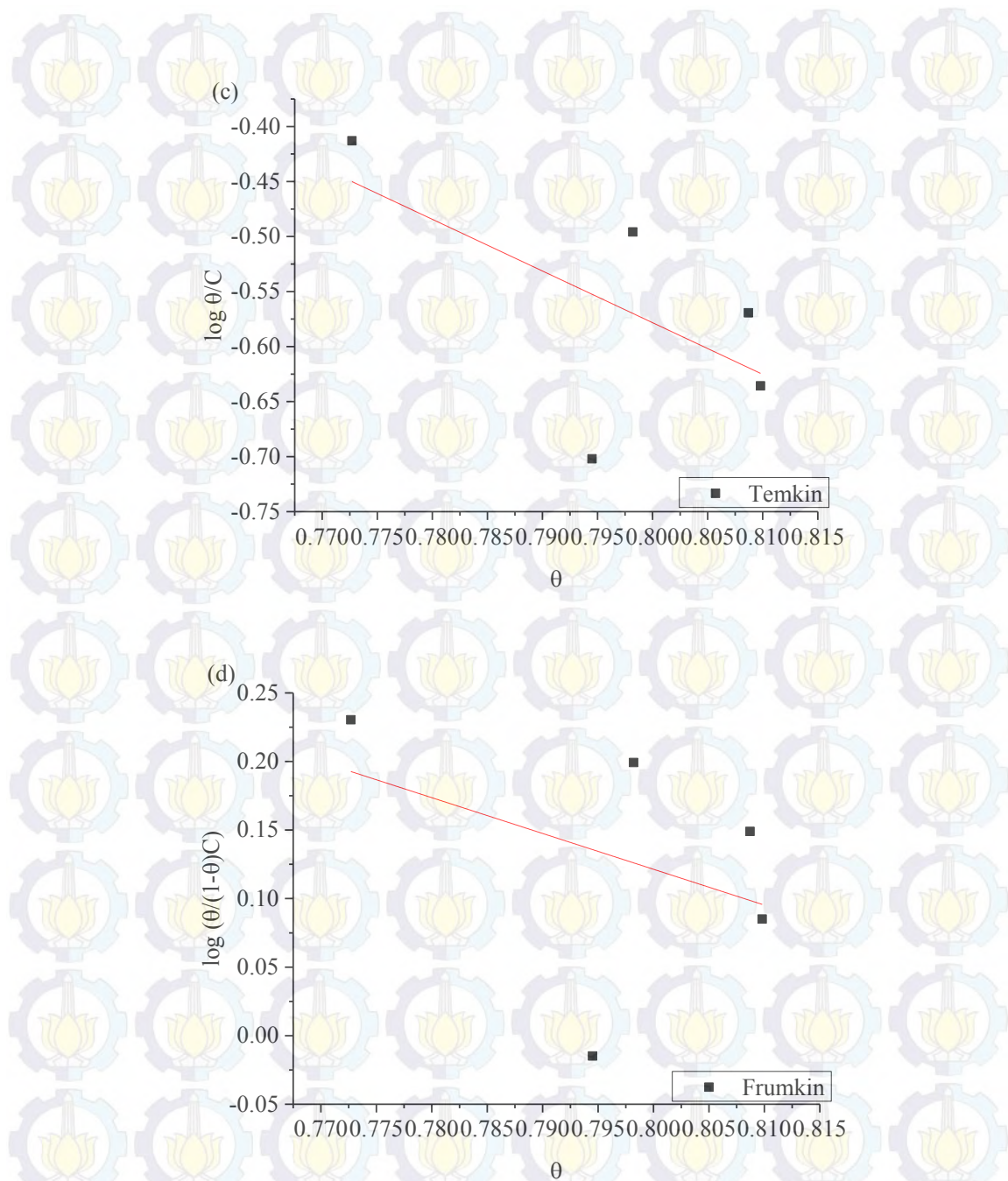
Dari perhitungan yang telah dilakukan, dapat dilihat pada Tabel 4.4 bahwa nilai energi aktivasi (E_a) pada blanko lebih besar daripada energi aktivasi pada inhibitor (E_a). Nilai E_a pada logam Stainless Steel 304 dalam media HCl 1M baik dengan dan tanpa inhibitor dapat menjelaskan proses inhibisinya. Nilai E_a yang lebih kecil dengan penambahan inhibitor dibandingkan dengan tanpa penambahan inhibitor menunjukkan terjadinya peristiwa kemisorpsi. Nilai E_a yang lebih kecil ketika ditambah inhibitor mengindikasikan inhibitor menempel secara kemisorpsi pada permukaan logam (de Souza and Spinelli, 2009). Proses inhibisi ekstrak TDA bekerja secara kemisorpsi pada permukaan SS 304. Nilai entalpi (ΔH) tanpa

dan dengan inhibitor bernilai positif, yaitu 74,31 kJ/mol dan 12,89 kJ/mol secara berurutan. Nilai yang positif tersebut menunjukkan bahwa prosesnya berlangsung secara endotermis, yang berarti bahwa efisiensi inhibisi mengalami kenaikan dengan meningkatnya temperatur (Deng dan Li, 2012; Hussin dan Kassim, 2011). Selain itu, meningkatnya efisiensi inhibisi ekstrak *Tithonia diversifolia* pada permukaan logam Stainless Steel 304 dengan meningkatnya temperatur menunjukkan bahwa semakin banyaknya jumlah molekul inhibitor yang mengadsorp permukaan logam Stainless Steel 304 (Hussin dan Kassim, 2011).

4.6. Adsorpsi Isotermal

Beberapa informasi pendukung mengenai bagaimana mekanisme inhibisi korosi yang terjadi antara inhibitor dengan permukaan logam stainless steel 304 dapat dipelajari dari adsorpsi isothermal (de Souza dan Spinelli, 2009). Dengan mempelajari adsorpsi isothermalnya, maka dapat mengetahui informasi dasar bagaimana proses adsorpsi TDA pada permukaan logam stainless steel 304 dan interaksinya (Kamal and Sethuraman, 2012). Untuk mendeskripsikan bagaimana mekanisme adsorpsi TDA. Maka diuji beberapa adsorpsi isothermal diantaranya Langmuir, Freundlich, Temkin dan Frumkin (de Souza dan Spinelli, 2009; El-Sherif dan Badawy, 2011; Mourya dkk., 2014a). Dimana persamaan yang digunakan dapat dilihat pada persamaan 2.2 sampai 2.5.





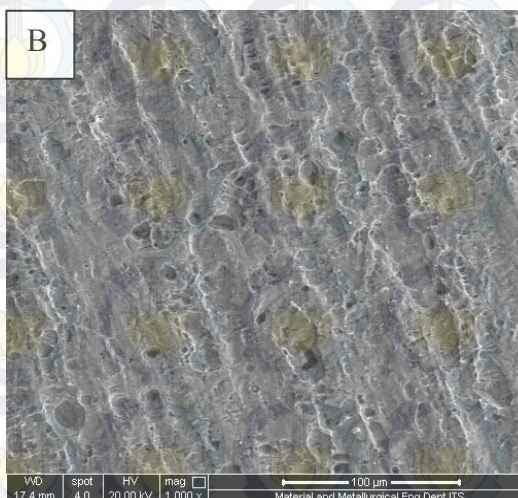
Gambar 4.9 Adsorpsi isothermal (a) Langmuir (b) Freundlich (c) Temkin (d) Frumkin

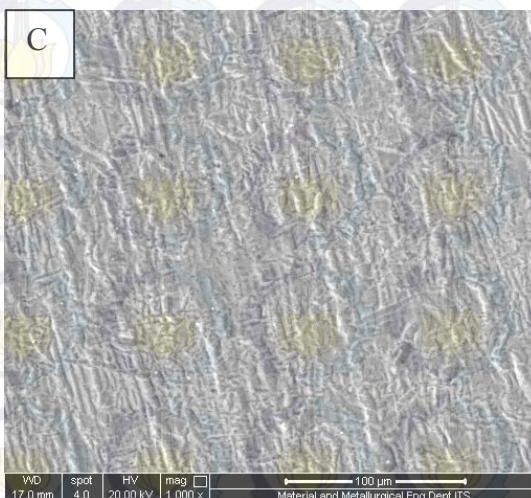
Dari pengujian beberapa tipe adsorpsi isothermal, berdasarkan kurva yang ditunjukkan pada Gambar 4.9. Dapat dilihat bahwa adsorpsi isothermal Langmuir menunjukkan korelasi yang paling baik dengan data eksperimen dengan nilai regresi sebesar $R^2 = 0,9972$. Nilai dari konstanta kesetimbangan atau K_{ads} didapatkan dari intercept persamaan garis lurus dengan regresi terbaik pada

Gambar 4.9(a). Sehingga dengan menggunakan persamaan 2.2, dapat diperoleh nilai Konstanta adsorpsinya (K_{ads}) sebesar 9,2764 L/mol. Setelah diketahui nilai konstanta adsorpsinya, maka dilakukan perhitungan nilai energi bebas Gibbs (ΔG_{ads}°) dengan menggunakan persamaan 2.1. Dari perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan nilai ΔG_{ads}° sebesar $-22,62$ kJ/mol. Nilai energi bebas Gibbs sebesar $-22,62$ kJ/mol menunjukkan bahwa proses inhibisi dengan menggunakan ekstrak TDA bekerja secara kemisorpsi. Selain itu berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Dahmani dkk bahwa jika nilai energi bebas Gibbs kurang dari -40 kJ/mol, maka dapat diindikasikan bahwa adsorpsi inhibitor pada permukaan logam terjadi secara kemisorpsi (Dahmani, 1998). Penelitian yang dilakukan oleh Odewunmi dkk dengan menggunakan ekstrak semangka menjelaskan bahwa jika nilai energi bebas lebih dari -20 kJ/mol dan kurang dari -40 kJ/mol mengindikasikan proses adsorpsi inhibitor pada permukaan logam Stainless Steel 304 terjadi secara kemisorpsi (Odewunmi dkk., 2015; Soltani dkk., 2014). Proses kemisorpsi yang dimaksud adalah senyawa aktif dari ekstrak TDA teradsorp ke permukaan logam Stainless Steel 304 secara kimia akibat proses berbagi atau transfer muatan molekul organik ke permukaan logam membentuk ikatan kovalen koordinasi (Amin and Ibrahim, 2011; de Souza and Spinelli, 2009; Döner dkk., 2011; Hussin and Kassim, 2011). Nilai negatif dari energi bebas Gibbs dapat diartikan sebagai proses adsorpsi kandungan fitokimia dari *Tithonia diversifolia* ke permukaan logam berjalan secara spontan (Kamal and Sethuraman, 2012). Selain itu, nilai energi bebas Gibbs yang bernilai negatif menunjukkan bahwa inhibitor dari ekstrak daun TDA cocok digunakan sebagai penghambat terjadinya korosi pada logam stainless steel 304 didalam media HCl 1M (Mourya dkk., 2014a). Telah dijelaskan sebelumnya bahwa adsorpsi ekstrak daun TDA mengikuti adsorpsi isothermal Langmuir yang juga dapat menjelaskan adanya pembentukan monolayer yang berasal dari inhibitor ke permukaan logam stainless steel 304 (Hussin and Kassim, 2011).

4.7. Analisa Permukaan Logam Stainless Steel 304

Analisa permukaan logam SS 304 dilakukan dengan menggunakan instrument SEM (*Scanning Electron Microscope*). Pada Gambar 4.10 (a) permukaan SS 304 yang diampelas dan belum mengalami korosi, kemudian dilakukan perendaman SS 304 selama 3 minggu dan terlihat terdapat perbedaan yang signifikan. Permukaan SS 304 terkorosi secara merata dan terjadi korosi sumuran dengan terlihatnya lubang-lubang hitam kecil seperti pada Gambar 4.10 (b). Akan tetapi berbeda dengan SS 304 yang direndam dalam 1M HCl dan diberi inhibitor ekstrak daun TDA dengan konsentrasi 3,5 g/L, terlihat permukaannya lebih terang dan tidak muncul lubang-lubang kecil dipermukaan SS 304 Gambar 4.10 (c). Selain itu, permukaannya juga lebih halus dan tidak tampak kekasaran seperti pada Gambar 4.10 (b) yang menandakan terbentuknya produk korosi tanpa adanya inhibitor.



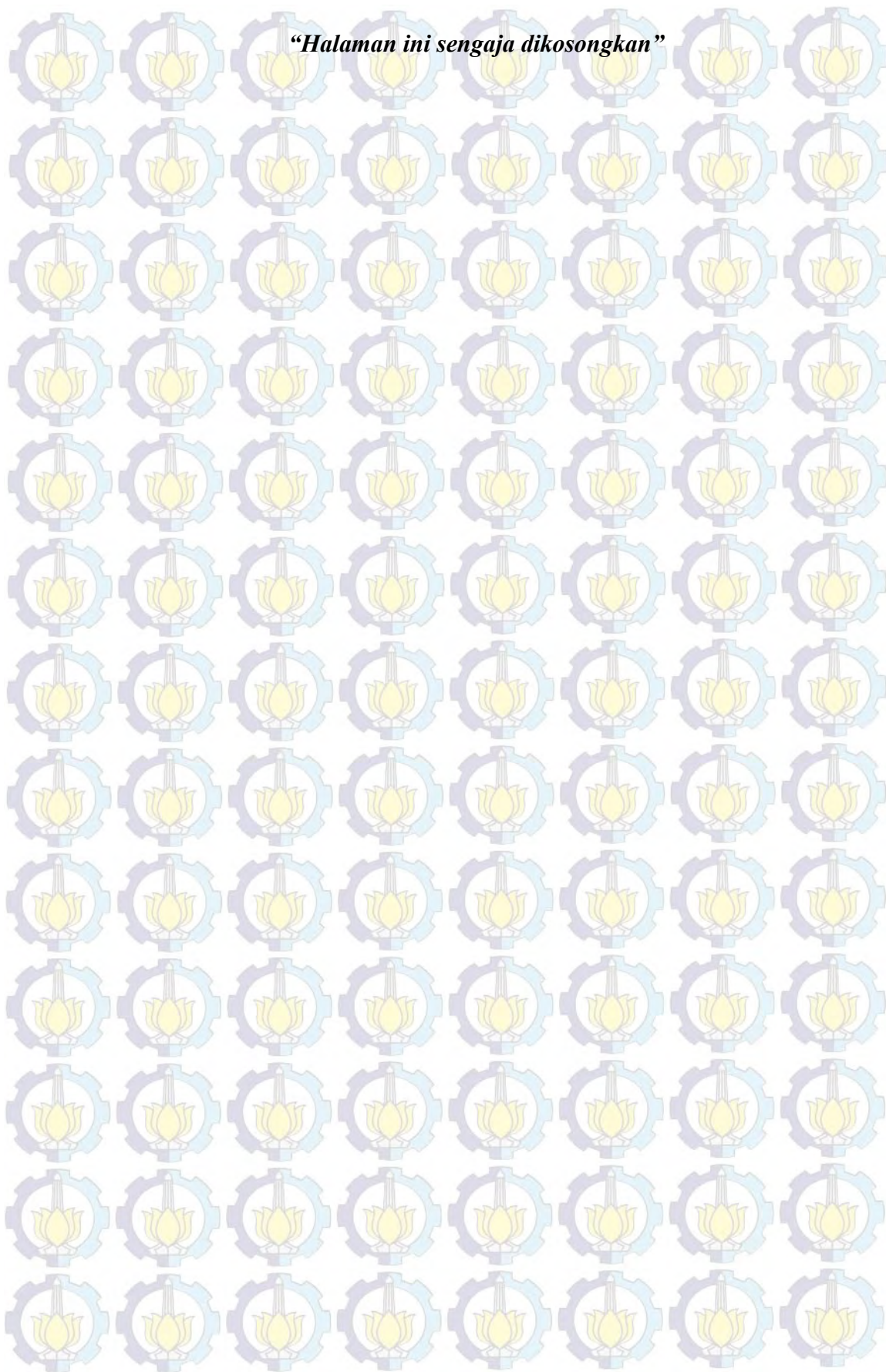


Gambar 4.10 Analisa Permukaan SS 304 (a) sebelum terkorosi, (b) tanpa inhibitor, (c) dengan inhibitor dalam 1M HCl

4.8. Mekanisme Inhibisi ekstrak *Tithonia diversifolia* pada SS 304

Ekstrak *Tithonia diversifolia* A. Gray mampu menginhibisi laju korosi pada logam Stainless Steel 304 dalam media HCl 1M sebesar 98,48%. Adapun proses inhibisinya berlangsung secara kemisorpsi, dan dengan adanya kenaikan temperatur mampu meningkatkan kemampuan inhibisinya. Berdasarkan hasil karakterisasi ekstrak TDA menggunakan FTIR adanya gugus OH pada bilangan gelombang $3398,69\text{ cm}^{-1}$ dapat diasumsikan sebagai gugus yang berperan mampu menginhibisi korosi pada logam Stainless Steel 304. Gugus OH yang memiliki pasangan elektron bebas mampu membentuk suatu lapisan tipis pada permukaan logam stainless steel 304 yang memiliki orbital kosong sehingga mampu menurunkan laju korosi dalam media HCl 1 M.

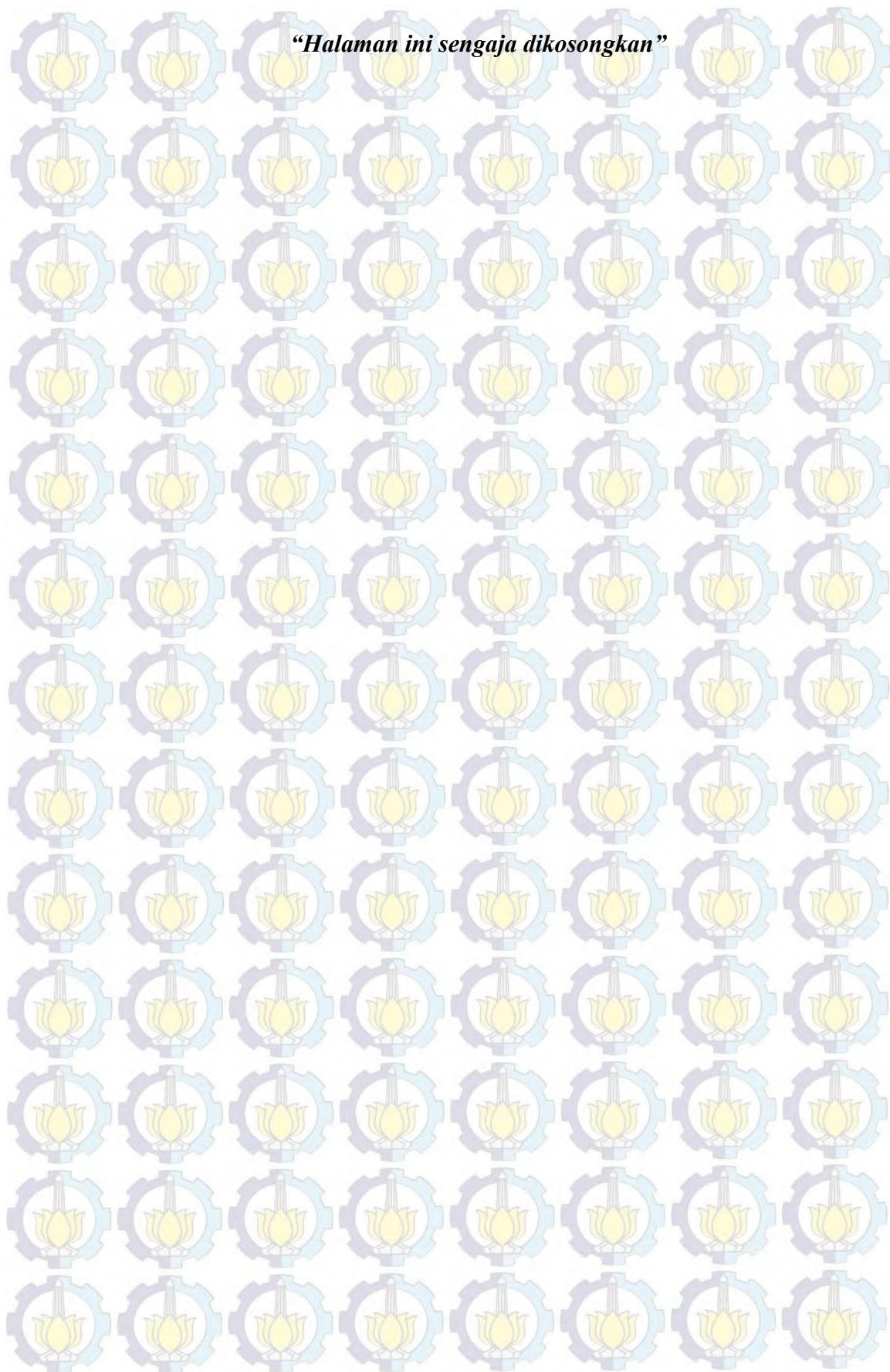
“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BAB 5

KESIMPULAN

Ekstrak daun *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray (TDA) telah diuji sebagai inhibitor korosi pada logam stainless steel 304 dalam media HCl 1 M. Pengukuran elektrokimia baik dengan menggunakan metode polarisasi potensiodinamik maupun *EIS* menunjukkan bahwa ekstrak daun TDA dapat menghambat laju korosi pada logam stainless steel 304 dalam media HCl 1 M. Efisiensi inhibisi optimum dicapai pada penambahan konsentrasi TDA sebesar 3,5 g/L pada suhu 65°C dengan nilai %EI sebesar 98,48%. Kemampuan inhibisi TDA meningkat dengan meningkatnya suhu. Hal ini menunjukkan bahwa proses inhibisi TDA pada permukaan stainless steel 304 terjadi secara kemisorpsi.



DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, R.A., Farghali, R.A., Fekry, A.M., 2012. Study for the Stability and Corrosion Inhibition of Electrophoretic Deposited Chitosan on Mild Steel Alloy in Acidic Medium. *International Journal of Electrochemical Science* 7, 7270–7282.
- Ait Albrimi, Y., Ait Addi, A., Douch, J., Souto, R.M., Hamdani, M., 2015. Inhibition of the pitting corrosion of 304 stainless steel in 0.5 M hydrochloric acid solution by heptamolybdate ions. *Corrosion Science* 90, 522–528. doi:10.1016/j.corsci.2014.10.023
- Alaneme, K.K., Olusegun, S.J., 2012. Corrosion inhibition performance of lignin extract of sun flower (*Tithonia diversifolia*) on medium carbon low alloy steel immersed in H₂SO₄ solution. *Leonardo Journal of Sciences* 20, 59–70.
- Albrimi, Y.A., Addi, A.A., Souto, R.M., Hamdani, M., 2015. Inhibition of the pitting corrosion of 304 stainless steel in 0.5 M hydrochloric acid solution by heptamolybdate ions. *Corrosion Science* 90, 522–528.
- Al-Otaibi, M.S., Al-Mayouf, A.M., Khan, M., Mousa, A.A., Al-Mazroa, S.A., Alkhatlan, H.Z., 2014. Corrosion inhibitory action of some plant extracts on the corrosion of mild steel in acidic media. *Arabian Journal of Chemistry* 7, 340–346. doi:10.1016/j.arabjc.2012.01.015
- Amin, M.A., Ibrahim, M.M., 2011. Corrosion and corrosion control of mild steel in concentrated H₂SO₄ solutions by a newly synthesized glycine derivative. *Corrosion Science* 53, 873–885. doi:10.1016/j.corsci.2010.10.022
- Cicek, V., Bayan, A.N., 2011. Corrosion Chemistry. John Wiley and Sons Inc, Canada.
- Dahmani, A.E.-T.M., 1998. Corrosion Inhibition of C38 Steel in 1 M HCl: A Comparative Study of Black Pepper Extract and Its Isolated Piperine.
- Dariva, C.G., Galio, A.F., 2014. Corrosion Inhibitors – Principles, Mechanisms and Applications. Intech Open Science Open Minds.
- Deng, S., Li, X., 2012. Inhibition by *Jasminum nudiflorum* Lindl. Leaves Extract of the Corrosion of Aluminium in HCl Solution 64, 253–262.
- de Souza, F.S., Spinelli, A., 2009. Caffeic acid as a green corrosion inhibitor for mild steel. *Corrosion Science* 51, 642–649. doi:10.1016/j.corsci.2008.12.013
- Döner, A., Solmaz, R., Özcan, M., Kardaş, G., 2011. Experimental and theoretical studies of thiazoles as corrosion inhibitors for mild steel in sulphuric acid solution. *Corrosion Science* 53, 2902–2913. doi:10.1016/j.corsci.2011.05.027
- El-Haddad, M.N., 2013. Chitosan as Green Inhibitors for Copper Corrosion in Acidic Medium 55, 142–149.

- El-Sherif, R.M., Badawy, W.A., 2011. Mechanism of corrosion and corrosion inhibition of tin in aqueous solutions containing tartaric acid. *Int. J. Electrochem. Sci* 6, 6469–6482.
- Everett, T.H., 1982. The New York Botanical Garden Illustrated Encyclopedia of Horticulture. Taylor & Francis.
- Gama, R.M. da, Guimarães, M., Abreu, L.C. de, Armando-Junior, J., 2014. Phytochemical screening and antioxidant activity of ethanol extract of *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray dry flowers. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine* 4, 740–742. doi:10.12980/APJTB.4.2014APJTB-2014-0055
- Gandy, D., Shingledecker, J., Viswanathan, R., 2011. Advances in Materials Technology for Fossil Power Plants: *Proceedings from the Sixth International Conference*, August 31-September 3, 2010, Santa Fe, New Mexico, USA. ASM International.
- Gang Hu, R., Zhang, S., Fu Bu, J., Jian Lin, C., Ling Song, G., 2011. Recent Progress in Corrosion Protection of Magnesium Alloys by Organic Coatings 73, 129–141.
- Hussin, M.H., Kassim, M.J., 2011. The corrosion inhibition and adsorption behavior of *Uncaria gambir* extract on mild steel in 1 M HCl. *Materials Chemistry and Physics* 125, 461–468. doi:10.1016/j.matchemphys.2010.10.032
- Hussin, M.H., Rahim, A.A., Mohamad Ibrahim, M.N., Brosse, N., 2016. The capability of ultrafiltrated alkaline and organosolv oil palm (*Elaeis guineensis*) fronds lignin as green corrosion inhibitor for mild steel in 0.5M HCl solution. *Measurement* 78, 90–103. doi:10.1016/j.measurement.2015.10.007
- Jones, D.A., 1991. Principles and Prevention of Corrosion. Macmillan Publishing Company, Canada.
- Kamal, C., Sethuraman, M.G., 2012. *Spirulina platensis* – A novel green inhibitor for acid corrosion of mild steel. *Arabian Journal of Chemistry* 5, 155–161. doi:10.1016/j.arabjc.2010.08.006
- Kumar, G., Buchheit, R.G., 2006. Development and Characterization of Corrosion Resistant Coating Using Natural Biopolymer Chitosan. *The Electrochemical Society* 1, 101–117.
- Kurniawan, F., Madurani, K.A., 2015. Electrochemical and optical microscopy study of red pepper seed oil corrosion inhibition by self-assembled monolayers (SAM) on 304 SS. *Progress in Organic Coatings* 88, 256–262. doi:10.1016/j.porgcoat.2015.07.010
- Li, X., Deng, S., Fu, H., 2012. Inhibition of the corrosion of steel in HCl, H₂SO₄ solutions by bamboo leaf extract. *Corrosion Science* 62, 163–175. doi:10.1016/j.corsci.2012.05.008
- Medrano-Vaca, M.G., Gonzalez-Rodriguez, J.G., Nicho, M.E., Casales, M., Salinas-Bravo, V.M., 2008. Corrosion protection of carbon steel by thin films of poly(3-alkyl thiophenes) in 0.5 M H₂SO₄. *Electrochimica Acta* 53, 3500–3507. doi:10.1016/j.electacta.2007.12.003

- Miura, T., Nosaka, K., Ishii, H., Ishida, T., 2005. Antidiabetic effect of Nitobegiku, the herb *Tithonia diversifolia*, in KK-Ay diabetic mice. *Biological and Pharmaceutical Bulletin* 28, 2152–2154.
- Mourya, P., Banerjee, S., Singh, M.M., 2014a. Corrosion inhibition of mild steel in acidic solution by *Tagetes erecta* (Marigold flower) extract as a green inhibitor. *Corrosion Science* 85, 352–363. doi:10.1016/j.corsci.2014.04.036
- Mourya, P., Banerjee, S., Singh, M.M., 2014b. Corrosion inhibition of mild steel in acidic solution by *Tagetes erecta* (Marigold flower) extract as a green inhibitor. *Corrosion Science* 85, 352–363. doi:10.1016/j.corsci.2014.04.036
- Muthukrishnan, P., Jeyaprabha, B., Prakash, P., n.d. Adsorption and corrosion inhibiting behavior of *Lannea coromandelica* leaf extract on mild steel corrosion. *Arabian Journal of Chemistry*. doi:10.1016/j.arabjc.2013.08.011
- Obafemi, C.A., Sulaimon, T.O., Olugbade, T.A., 2006. Antimicrobial Activity of Extract and a Germacranolide-type Sesquiterpene Lactone from *Tithonia diversifolia* leaf Extract. *Academic Journals* 5, 1254–1258.
- Odewunmi, N.A., Umoren, S.A., Gasem, Z.M., 2015. Watermelon waste products as green corrosion inhibitors for mild steel in HCl solution. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 3, 286–296. doi:10.1016/j.jece.2014.10.014
- Oguzie, E.E., 2007. Corrosion inhibition of aluminium in acidic and alkaline media by *Sansevieria trifasciata* extract. *Corrosion Science* 49, 1527–1539.
- Otusanya, O., Ilori, O., 2012. Phytochemical Screening and the Phytotoxic Effect of Aqueous Extracts of *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray. *International Journal of Biology* 4, 97–101.
- Prabhu, D., Rao, P., 2013. *Coriandrum sativum* L.—A novel green inhibitor for the corrosion inhibition of aluminium in 1.0 M phosphoric acid solution. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 1, 676–683.
- Quattrocchi, U., 2012. CRC World Dictionary of Medicinal and Poisonous Plants: Common Names, Scientific Names, Eponyms, Synonyms, and Etymology (5 Volume Set). *CRC Press*.
- Raja, P.B., Sethuraman, M.G., 2008. Natural products as corrosion inhibitor for metals in corrosive media — A review. *Materials Letters* 62, 113–116. doi:10.1016/j.matlet.2007.04.079
- Rani, B. A., Basu, B.B.J., 2011. Green Inhibitors for Corrosion Protection of Metals and Alloys : An Overview. *International Journal of Corrosion* 1–15. doi:10.1155/2012/380217
- Sastri, V.S., 2012. Green Corrosion Inhibitors: Theory and Practice. John Wiley & Sons.
- Satapathy, A.K., Gunasekaran, G., Sahoo, S.C., Amit, K., Rodrigues, P.V., 2009. Corrosion inhibition by *Justicia gendarussa* plant extract in hydrochloric acid solution. *Corrosion Science* 51, 2848–2856. doi:10.1016/j.corsci.2009.08.016
- Schweitzer, P.A., 2006. Fundamentals of Metallic Corrosion: Atmospheric and Media Corrosion of Metals. *CRC Press*.

Sharma, K.S., 2012. Green Corrosion Chemistry and Engineering. JECRC, Jaipur India.

Soltani, N., Tavakkoli, N., Khayat Kashani, M., Jalali, M.R., Mosavizade, A., 2012. Green approach to corrosion inhibition of 304 stainless steel in hydrochloric acid solution by the extract of *Salvia officinalis* leaves. *Corrosion Science* 62, 122–135. doi:10.1016/j.corsci.2012.05.003

Soltani, N., Tavakkoli, N., Khayat Kashani, M., Mosavizadeh, A., Oguzie, E.E., Jalali, M.R., 2014. *Silybum marianum* extract as a natural source inhibitor for 304 stainless steel corrosion in 1.0 M HCl. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 20, 3217–3227. doi:10.1016/j.jiec.2013.12.002

Supomo, H., 2003. Korosi. ITS.

Thongsom, M., Chunglok, W., Kuanchuea, R., Tangpong, J., 2013. Antioxidant and Hypoglycemic Effects of *Tithonia diversifolia* Aqueous LEaves Extract in Alloxan-induced Diabetic Mie. *Advances in Environmental Biology* 7, 2116–2125.

Threthewey, K.R., 1991. Korosi Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan. Gramedia, Jakarta.

Yaro, A.S., Khadom, A.A., Wael, R.K., 2013. Apricot juice as green corrosion inhibitor of mild steel in phosphoric acid. *Alexandria Engineering Journal* 52, 129–135. doi:10.1016/j.aej.2012.11.001

LAMPIRAN A

SKEMA KERJA

A.1. Ekstraksi daun *Tithonia diversifolia* Hemsl A. Gray

Daun *Tithonia diversifolia*
(Hemsl) A. Gray (TDA)

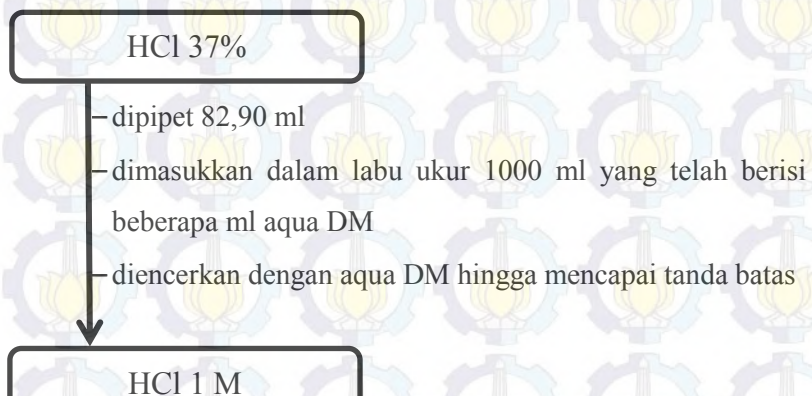
- dikeringkan
- ditimbang hingga didapatkan massa daun yang konstan
- dipisahkan daun dari tangkai daun
- dihaluskan dengan blender hingga halus
- ditimbang sebanyak 65,75 gram
- dilarutkan kedalam akuades 800 ml yang telah dipanaskan pada temperatur 90°C
- distirer selama 30 menit
- disaring dengan buchner
- diuapkan filtrat hingga dihasilkan cairan ekstrak pekat
- di freeze dryer selama 24 jam
- disimpan dalam vial dan dimasukkan dalam desikator

Ekstrak TDA

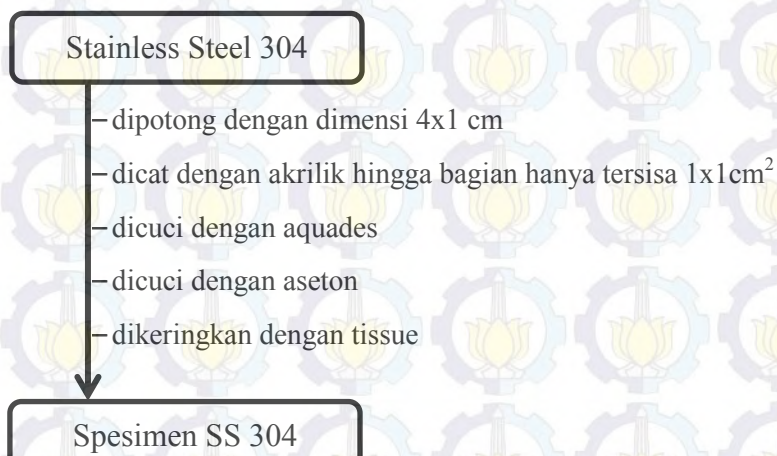
A.2. Karakterisasi FTIR Ekstrak daun *Tithonia diversifolia* Hemsl A. Gray



A.3. Pembuatan Media Korosi (HCl 1 M)



A.4. Preparasi Spesimen Stainless Steel 304



A.5. Pengujian dengan Metode Polarisasi Potensiodinamik

Spesimen 304

- Dirangkai bersama dengan elektroda pembanding dan elektroda bantu
- Direndam dalam HCl 1 M baik dengan dan tanpa inhibitor
- Dipolarisasi dari -700 mV sampai +700 mV dengan *scan rate* 0,01 V/s
- Diukur pada suhu kamar (25°C)
- Diestrapolasi tafel untuk mendapatkan parameter korosi

i_{kor} , E_{kor} , b_a , b_c , C_R

A.6. Pengujian dengan Metode EIS (*Electrochemical Impedance Spectroskopi*)

Stainless Steel 304

- Dirangkai bersama dengan elektroda pembanding dan elektroda bantu
- Direndam dalam HCl 1 M baik dengan dan tanpa inhibitor
- Dilakukan pengukuran impedansi dengan frekuensi 100 kHz sampai 0,1 Hz dengan amplitudo sebesar 0.0001A
- Diplot untuk mendapatkan parameter korosi

Spesimen SS 304

A.7. Analisa Permukaan Logam Stainless Steel 304

Spesimen SS 304

- Disiapkan spesimen yang telah diamplas, tanpa inhibitor (dalam HCL 1M saja) dan dengan inhibitor (dalam HCl 1M + 3,5 g/L ekstrak TDA)
- Diambil gambar permukaan logam stainless steel 304

Gambar Permukaan
Logam Stainless Steel
304

LAMPIRAN B

PEMBUATAN LARUTAN HCl 1 M

Teoritis:

Menghitung konsentrasi larutan HCl 37% dengan perhitungan sebagai berikut :

$$M = \frac{37}{100} \times 1,19 \times 1000 \times \frac{1}{36,5} = 12,06$$

$$M_1 V_1 = M_2 V_2$$

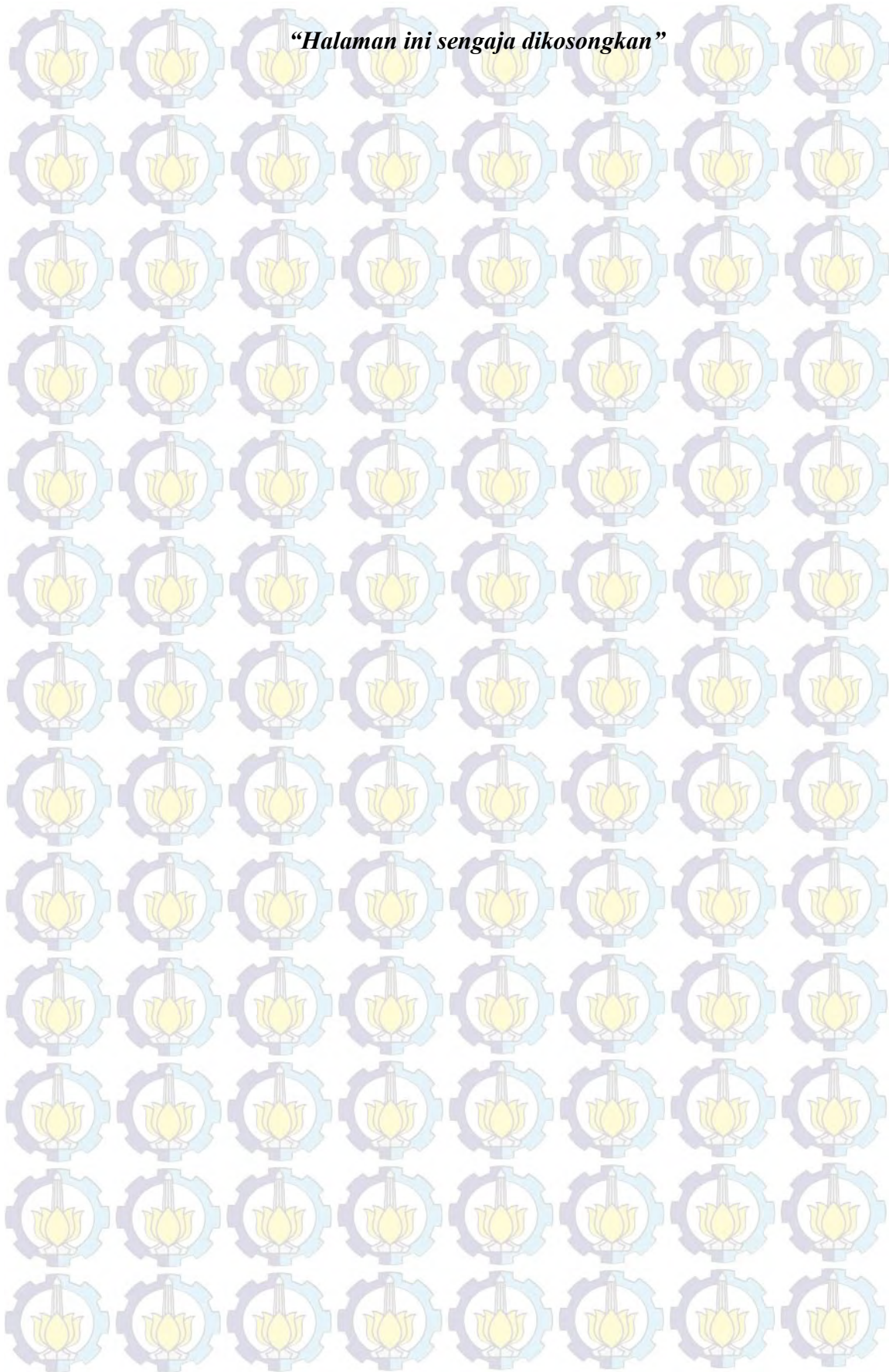
$$12,06M \times V_1 = 1M \times 1000 \text{ mL}$$

$$V_1 = 82,90 \text{ ml}$$

Praktek:

HCl 37% diambil sebanyak 82,90 ml, kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 ml yang telah berisi beberapa ml aqua DM, lalu ditambahkan aqua DM sampai tanda batas.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



LAMPIRAN C

PERHITUNGAN PARAMETER AKTIVASI

C.1 Perhitungan Konstanta Adsorpsi

Pertama dilakukan plotting antara konsentrasi inhibitor (C) dengan C/θ ($\theta = \%EI/100$) seperti pada **Error! Reference source not found.** (a). Kemudian didapatkan persamaan garis lurus sebagai berikut :

$$y = 1,2165x + 0,1078$$

dimana sumbu y merupakan C/θ sedangkan sumbu x merupakan konsentrasi inhibitor (C). sehingga dari persamaan adsorpsi isothermal Langmuir, nilai Konstanta adsorpsi (K_{ads}) didapatkan dari nilai *intercept*-nya. Maka dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$0,1078 = \frac{1}{K_{ads}}$$

$$K_{ads} = \frac{1}{0,1078}$$

$$K_{ads} = 9,2764 \text{ L/mol}$$

C.2 Perhitungan Energi Bebas Gibbs (ΔG_{ads}°)

Penentuan nilai energi bebas Gibbs didapatkan dari persamaan berikut :

$$\Delta G_{ads}^{\circ} = -RT \ln(A \times K_{ads})$$

$$\Delta G_{ads}^{\circ} = -RT \ln(1000 \times K_{ads})$$

$$\Delta G_{ads}^{\circ} = -8,31 \times 298 \ln(1000 \times 9,2764)$$

$$\Delta G_{ads}^{\circ} = -22.622,29 \text{ Joule/mol}$$

$$\Delta G_{ads}^{\circ} = -22,62 \text{ kJ/mol}$$

C.3 Perhitungan Energi Aktivasi (E_a)

Setelah dilakukan plotting berdasarkan persamaan Arrhenius, yaitu antara $1/T$ dengan $\ln i_{kor}$ maka didapatkan persamaan linear nya, baik pada blanko (HCl) maupun sampel (HCl+inhibitor). Maka dilakukan perhitungan sebagai berikut :

C.3.1. Perhitungan Energi Aktivasi Blanko

Dari persamaan linear yang didapatkan, nilai kemiringan (*slope*) sama dengan nilai Energi Aktivasinya,

$$y = mx + c$$

$$y = -9259.8x + 35.537$$

$$-\frac{E_a}{R} = m$$

$$-\frac{E_a}{R} = -9259,8$$

$$E_a = 9259,8 \times R$$

$$E_a = 9259,8 \times 8,31$$

$$E_a = 76.948,938 \text{ Joule/mol}$$

$$E_a = 76,94 \text{ kJoule/mol}$$

C.3.2. Perhitungan Energi Aktivasi Inhibitor

Dari persamaan linear yang didapatkan, nilai kemiringan (*slope*) sama dengan nilai Energi Aktivasinya,

$$y = mx + c$$

$$y = -1869x + 9.4201$$

$$-\frac{E_a}{R} = m$$

$$-\frac{E_a}{R} = -1869$$

$$E_a = 1869 \times R$$

$$E_a = 1869 \times 8,31$$

$$E_a = 15.531,39 \text{ Joule/mol}$$

$$E_a = 15,53 \text{ kJoule/mol}$$

C.4 Perhitungan Entalpi (ΔH) dan Entropi (ΔS)

Hasil plotting persamaan Arrhenius berupa garis lurus seperti pada **Error! Reference source not found.** Dari persamaan yang didapat, kemiringan setara dengan nilai entalpinya, sedangkan nilai *intercept* setara dengan nilai entropinya, maka dapat diperoleh nilai keduanya dengan cara sebagai berikut :

C.4.1. Perhitungan Entalpi (ΔH) dan Entropi (ΔS) Blanko (HCl)

$$y = mx + c$$

$$y = -8942,8x + 28,776$$

$$m = -8942,8$$

$$\frac{\Delta H}{R} = -8942,8$$

$$\Delta H = 8942,8 \times R$$

$$\Delta H = 8942,8 \times 8,31$$

$$\Delta H = 74.314,668 \text{ J/mol}$$

$$\Delta H = 74,31 \text{ kJ/mol}$$

$$C = 28,776$$

$$\ln \frac{R}{N_h} + \frac{\Delta S}{R} = 28,776$$

$$\ln \left(\frac{8,31}{6,022 \times 10^{23} \times 6,626 \times 10^{-34}} \right) + \frac{\Delta S}{R} = 28,776$$

$$23,76 + \frac{\Delta S}{R} = 28,776$$

$$\frac{\Delta S}{R} = 28,776 - 23,76$$

$$\frac{\Delta S}{R} = 5,016$$

$$\Delta S = 5,016 \times 8,31$$

$$\Delta S = 41,86 \text{ J/mol}$$

C.4.2. Perhitungan Entalpi (ΔH) dan Entropi (ΔS) Sampel (HCl+inhibitor)

$$y = mx + c$$

$$y = -1551,9x + 2,66$$

$$m = -1551,9$$

$$\frac{\Delta H}{R} = -1551,9$$

$$\Delta H = 1551,9 \times R$$

$$\Delta H = 1551,9 \times 8,31$$

$$\Delta H = 12.896,289 \text{ J/mol}$$

$$\Delta H = 12,89 \text{ kJ/mol}$$

$$C = 2,66$$

$$\ln \frac{R}{N_h} + \frac{\Delta S}{R} = 2,66$$

$$\ln \left(\frac{8,31}{6,022 \times 10^{23} \times 6,626 \times 10^{-34}} \right) + \frac{\Delta S}{R} = 2,66$$

$$23,76 + \frac{\Delta S}{R} = 2,66$$

$$\frac{\Delta S}{R} = 2,66 - 23,76$$

$$\frac{\Delta S}{R} = -21,1$$

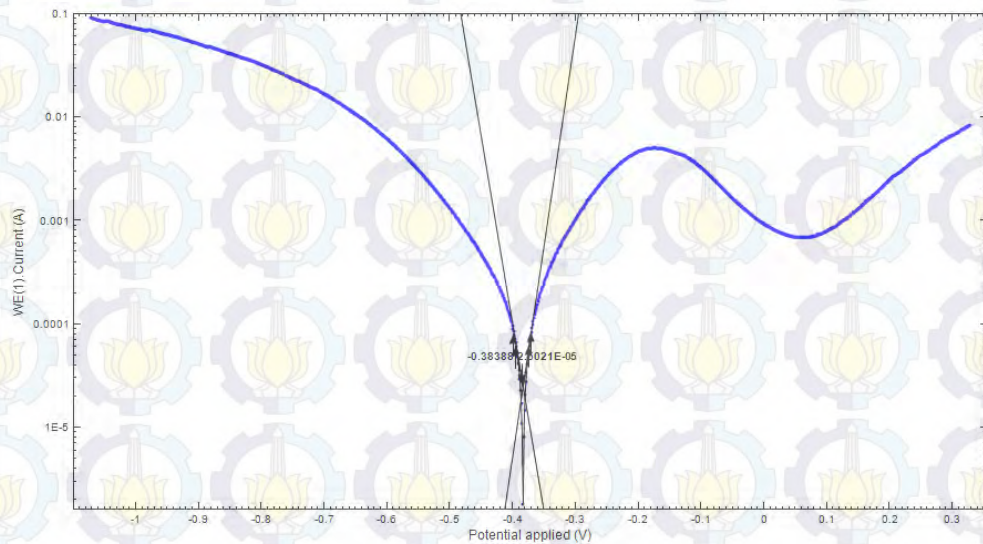
$$\frac{\Delta S}{R} = -21,1$$

$$\Delta S = -21,1 \times 8,31$$

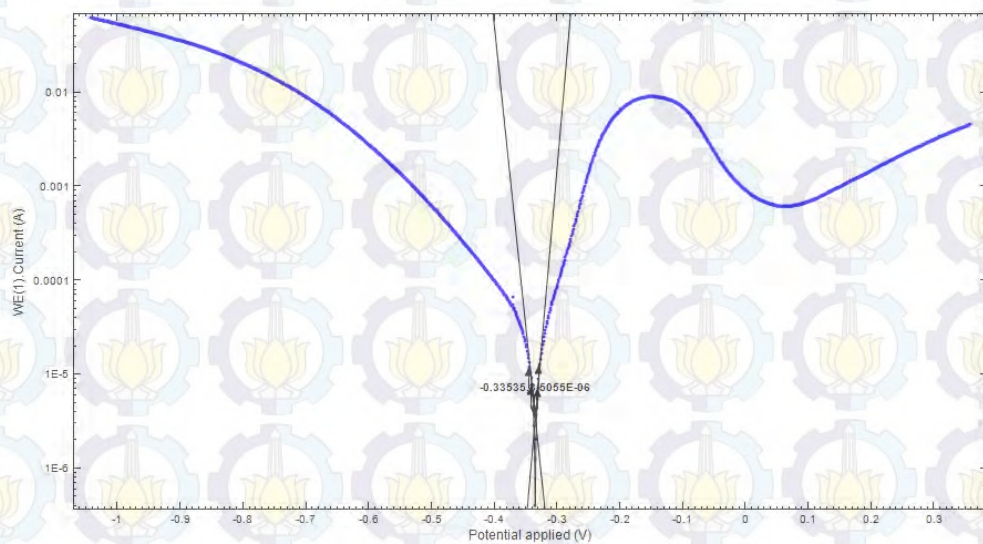
$$\Delta S = -175,341 \text{ J/mol}$$

LAMPIRAN D

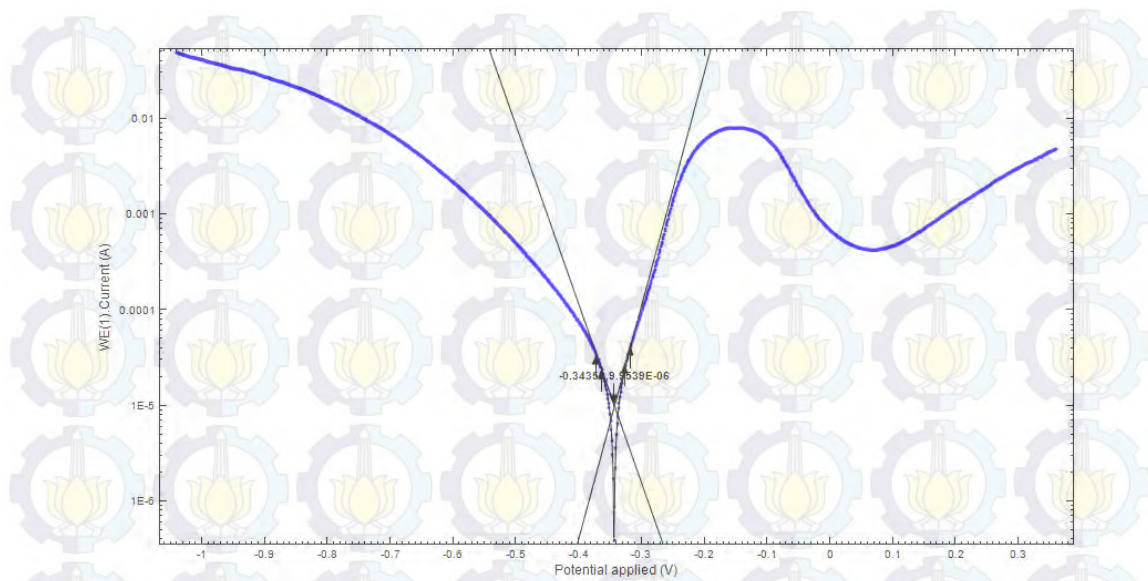
EKSTRAPOLASI TAFEL



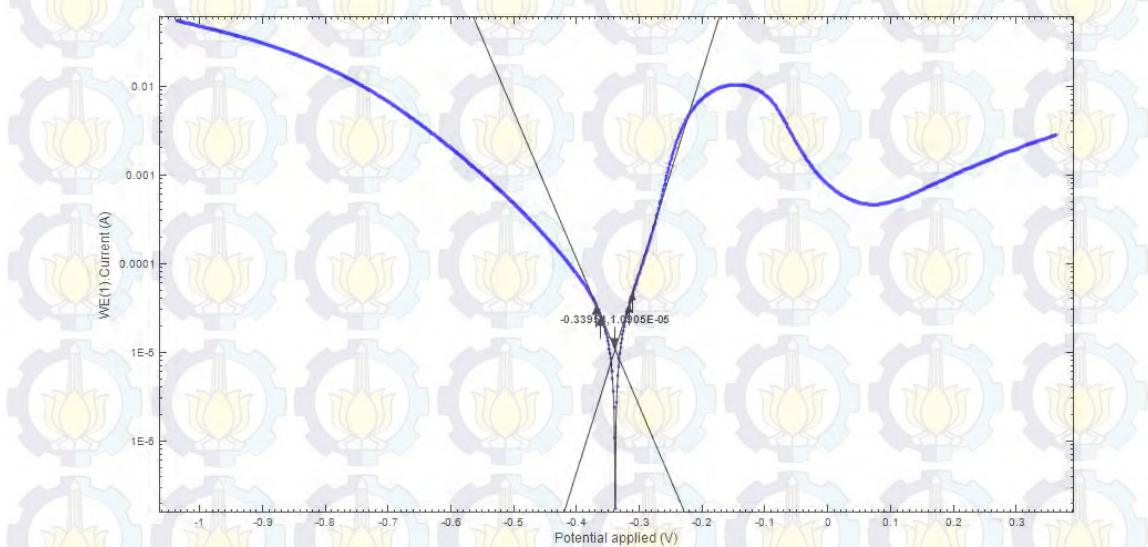
Gambar D.1 Ekstrapolasi Tafel blanko pada suhu kamar (25°C)



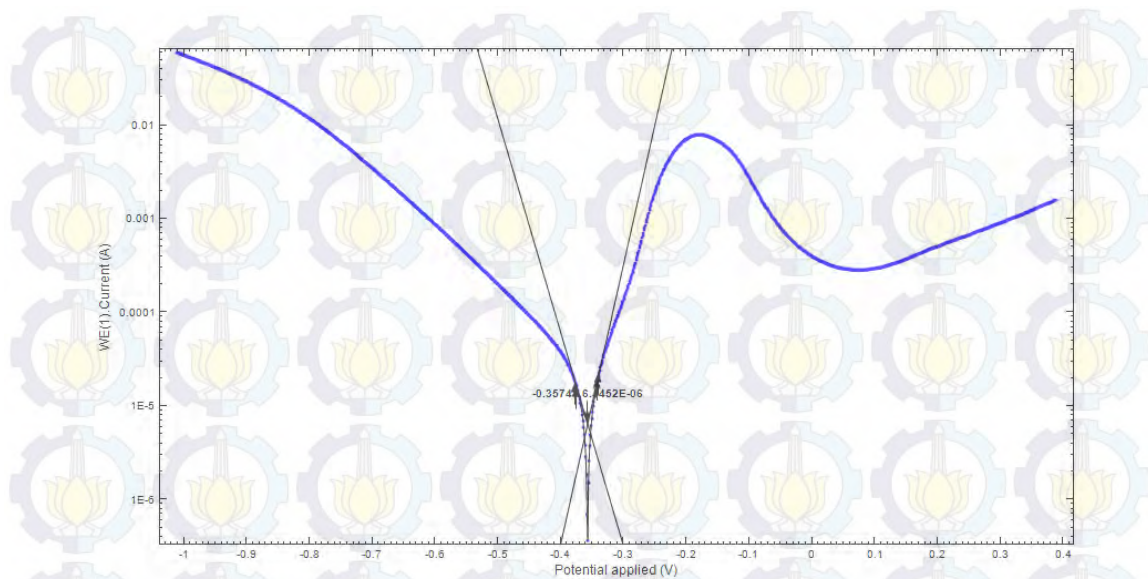
Gambar D.2 Ekstrapolasi Tafel dengan inhibitor variasi konsentrasi 2 g/L pada suhu kamar (25°C)



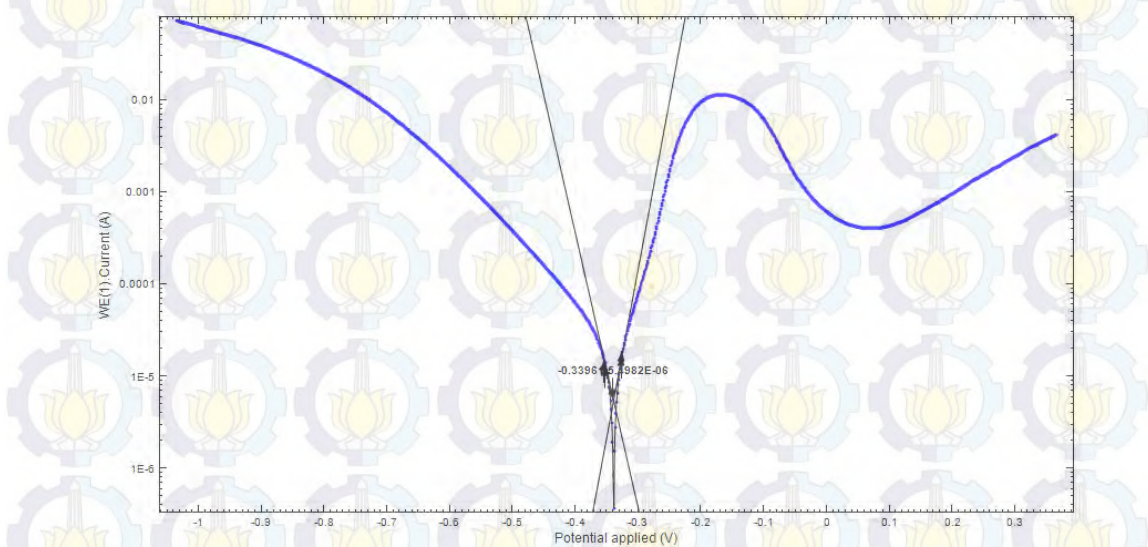
Gambar D.3 Ekstrapolasi Tafel dengan inhibitor variasi konsentrasi 2,5 g/L pada suhu kamar (25°C)



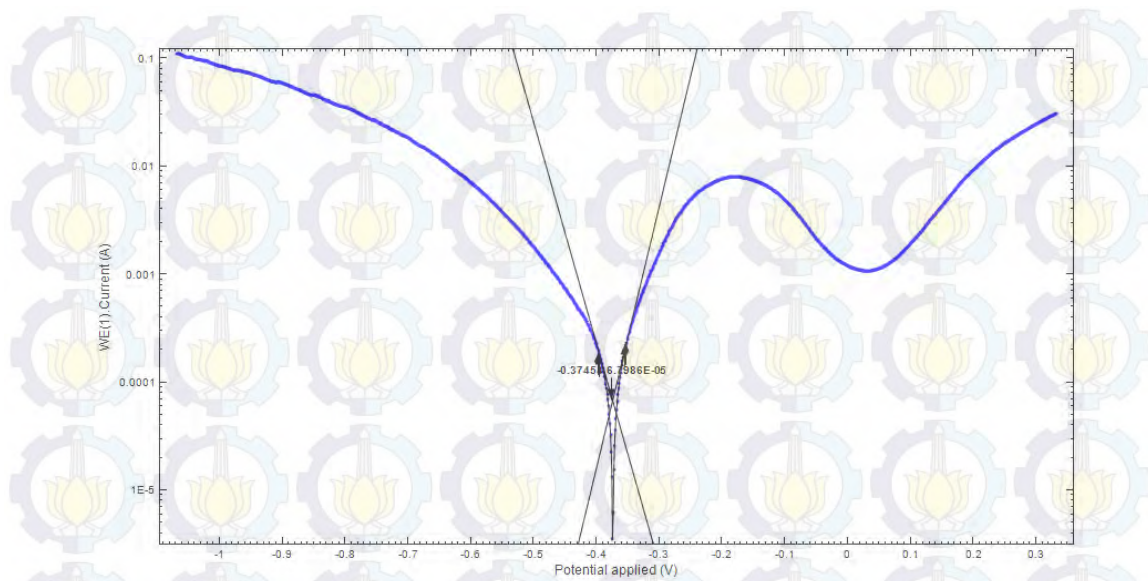
Gambar D.4 Ekstrapolasi Tafel dengan inhibitor variasi konsentrasi 3 g/L pada suhu kamar (25°C)



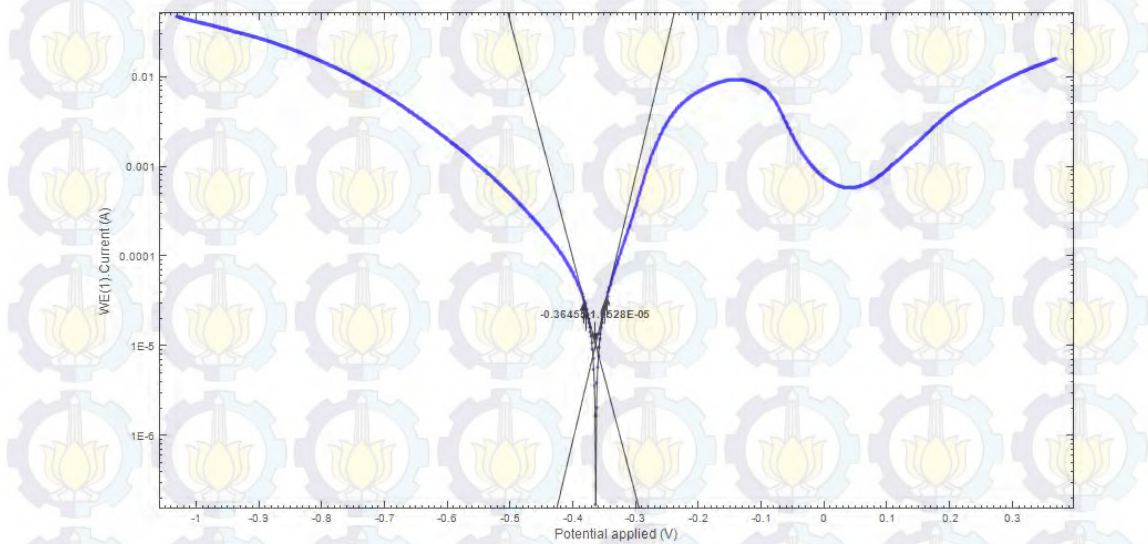
Gambar D.5 Ekstrapolasi tafel dengan inhibitor variasi konsentrasi 3,5 g/L pada suhu kamar (25°C)



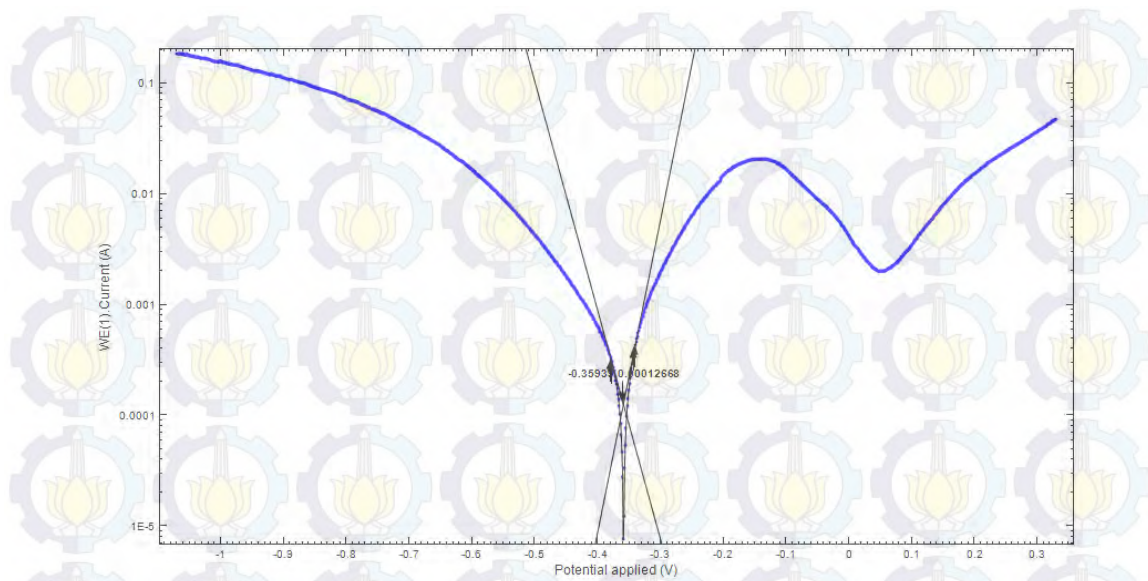
Gambar D.6 Ekstrapolasi tafel dengan inhibitor variasi konsentrasi 4 g/L pada suhu kamar (25°C)



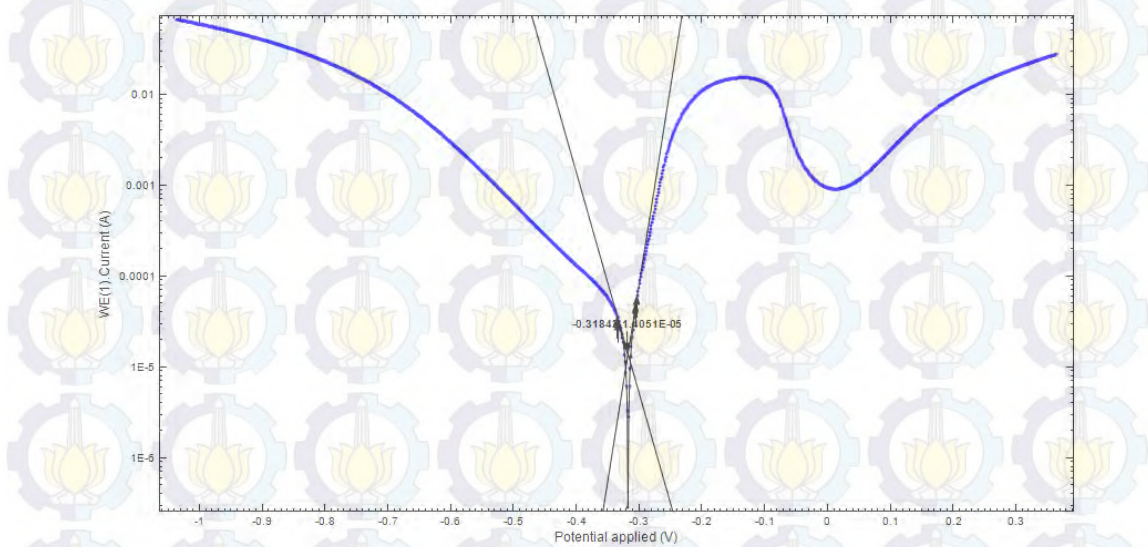
Gambar D.7 Ekstrapolasi tafel blanko pada suhu 35°C



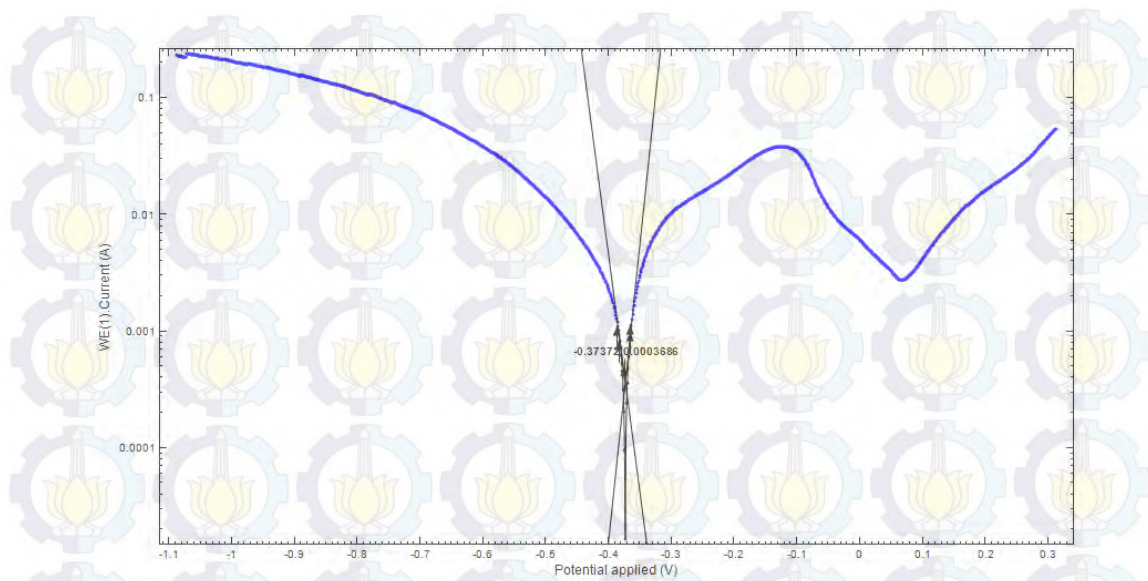
Gambar D.8 Ekstrapolasi tafel dengan inhibitor variasi konsentrasi 2,5 g/L pada suhu kamar 35°C



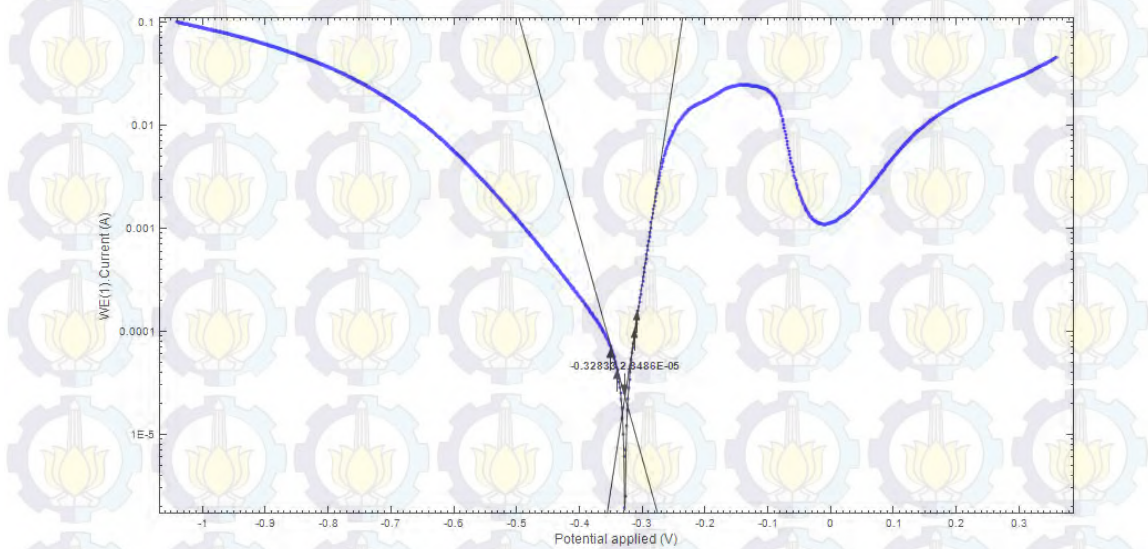
Gambar D.9 Ekstrapolasi tafel blanko pada suhu 35°C



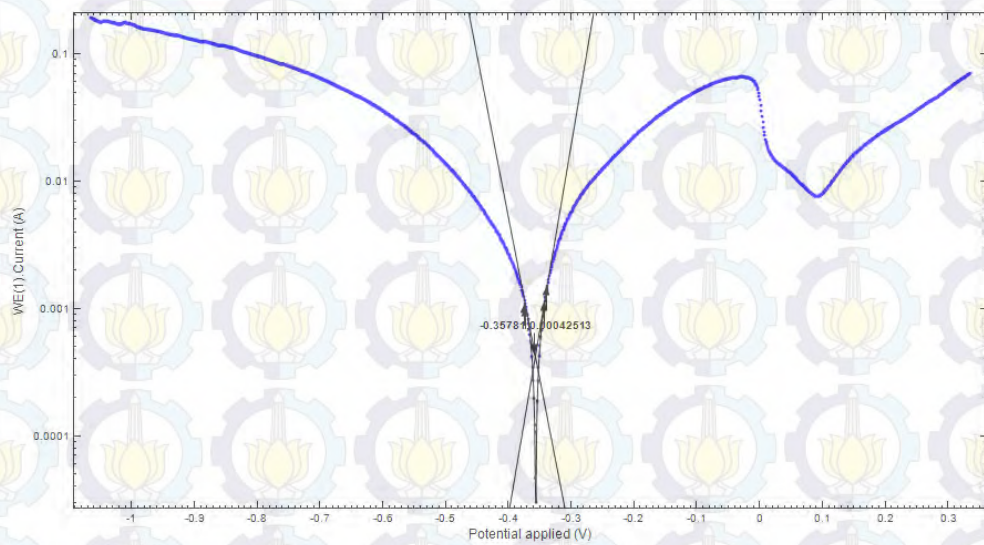
Gambar D.10 Ekstrapolasi tafel dengan inhibitor variasi konsentrasi 3 g/L pada suhu kamar 45°C



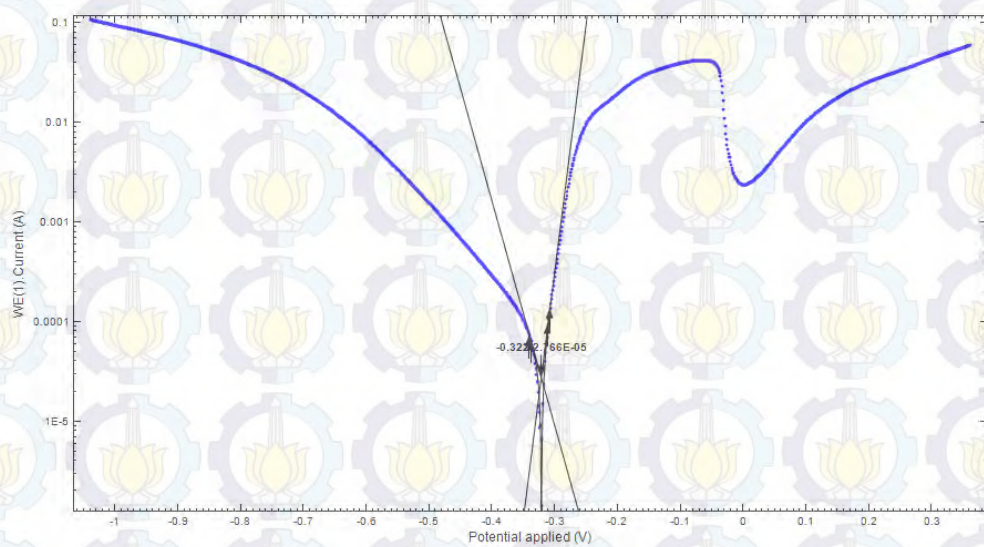
Gambar D.11 Ekstrapolasi tafel blanko pada suhu 55°C



Gambar D.12 Ekstrapolasi tafel dengan inhibitor variasi konsentrasi 3,5 g/L pada suhu kamar 55°C

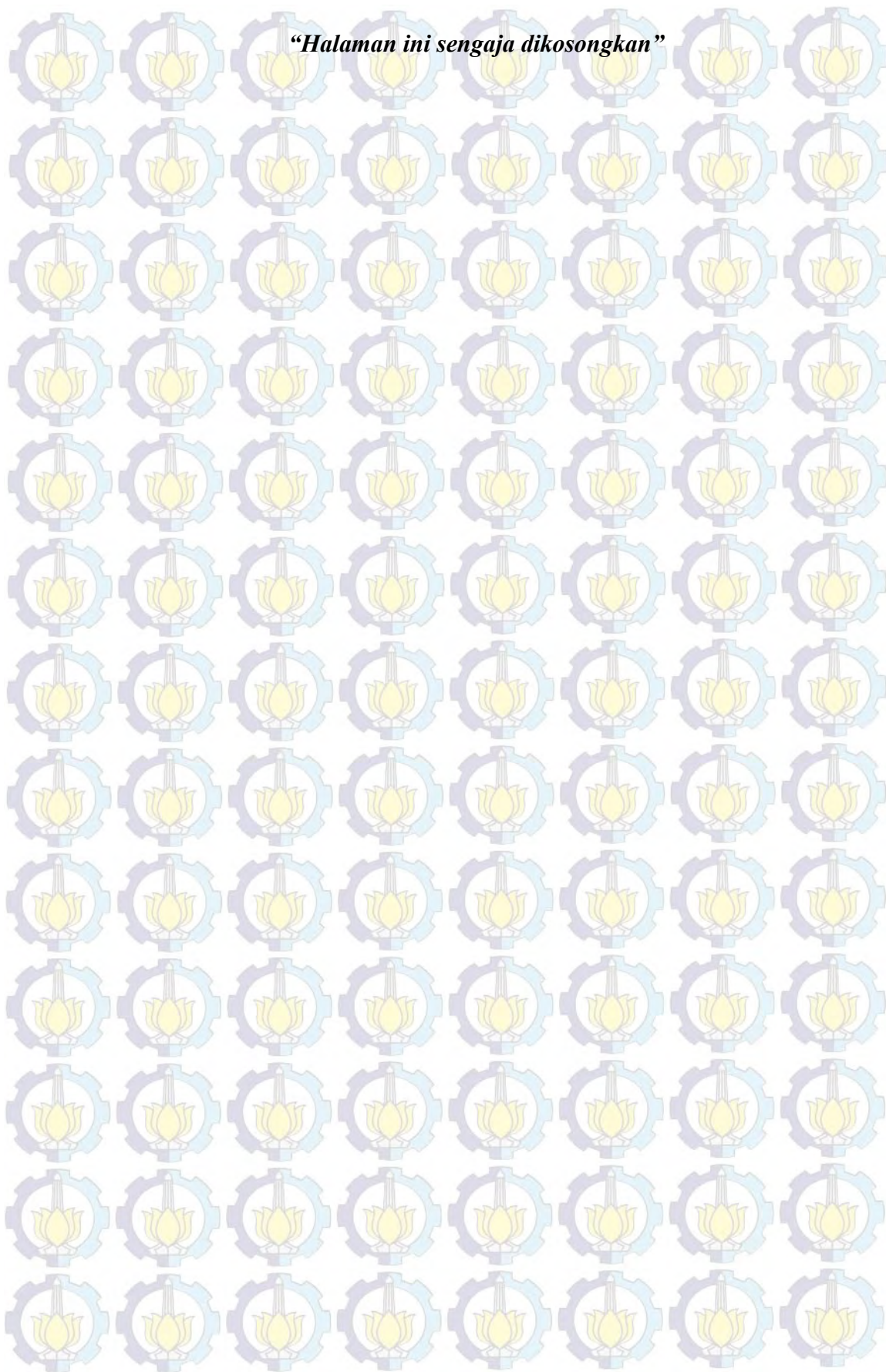


Gambar D.13 Ekstrapolasi tafel blanko pada suhu 65°C



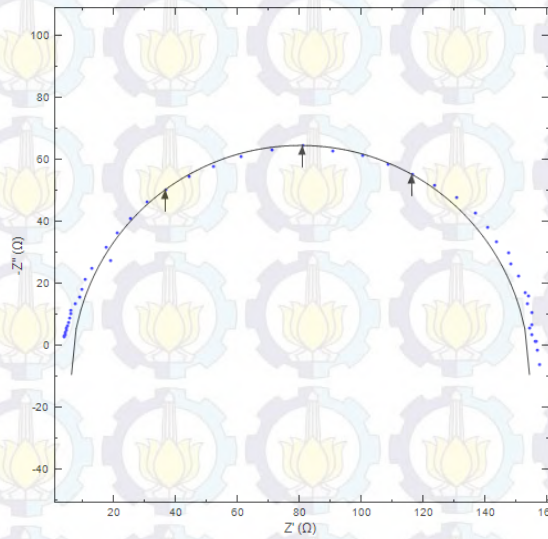
Gambar D.14 Ekstrapolasi tafel dengan inhibitor variasi konsentrasi 4 g/L pada suhu kamar 65°C

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

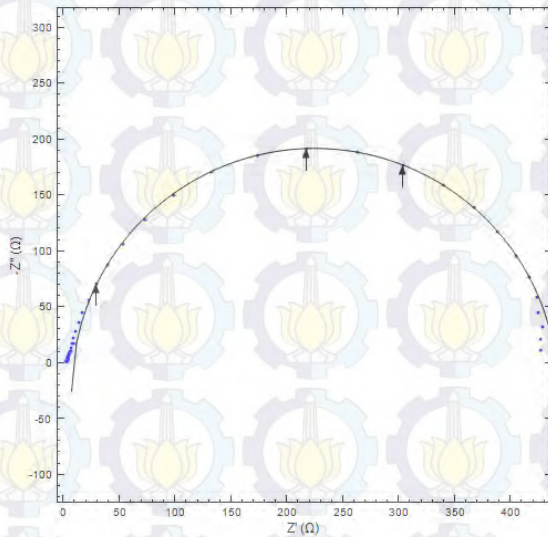


LAMPIRAN E

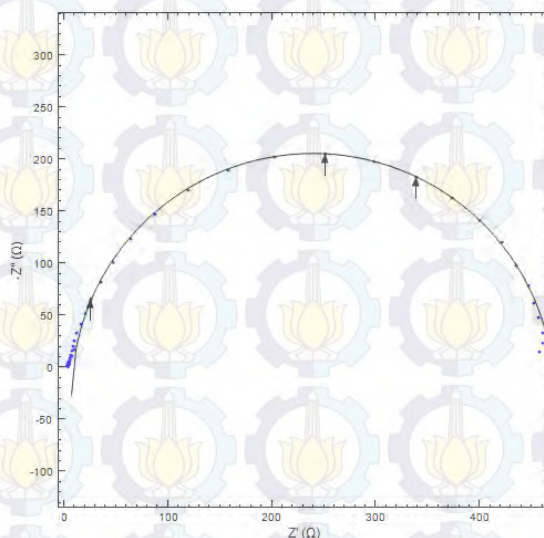
SPEKTRA IMPEDANSI



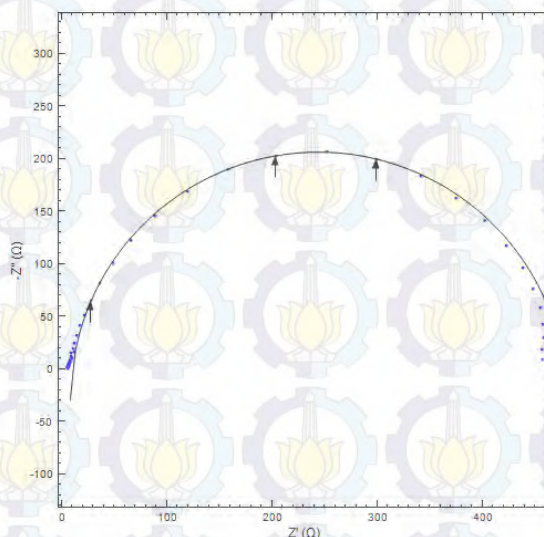
Gambar E.1 blanko suhu kamar (25°C)



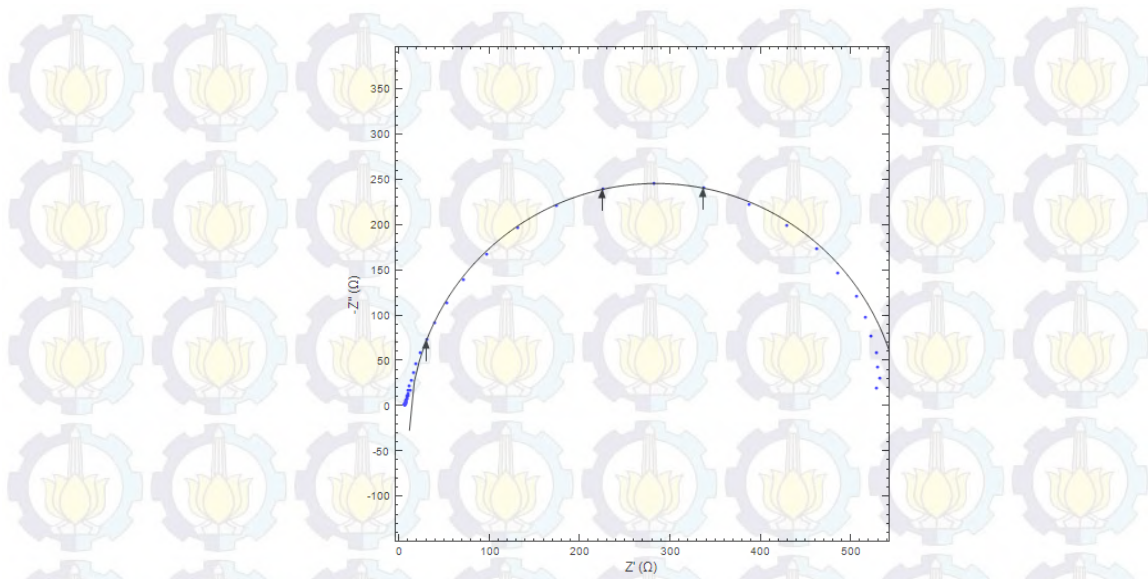
Gambar E.2 Dengan inhibitor variasi konsentrasi 2 g/L suhu kamar (25°C)



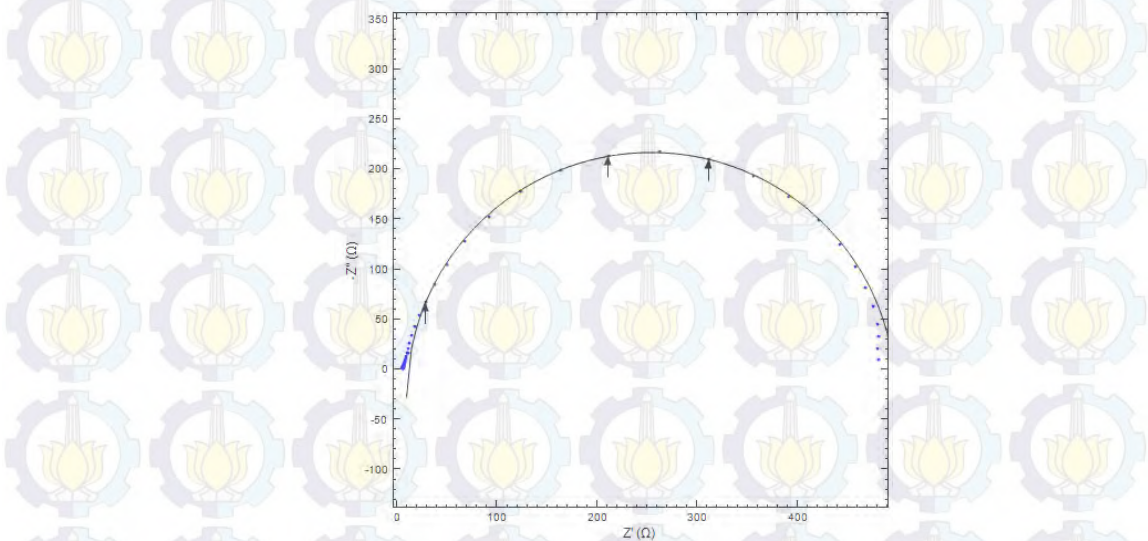
Gambar E.3 Dengan inhibitor variasi konsentrasi 2,5 g/L suhu kamar (25°C)



Gambar E.4 Dengan inhibitor variasi konsentrasi 3 g/L suhu kamar (25°C)

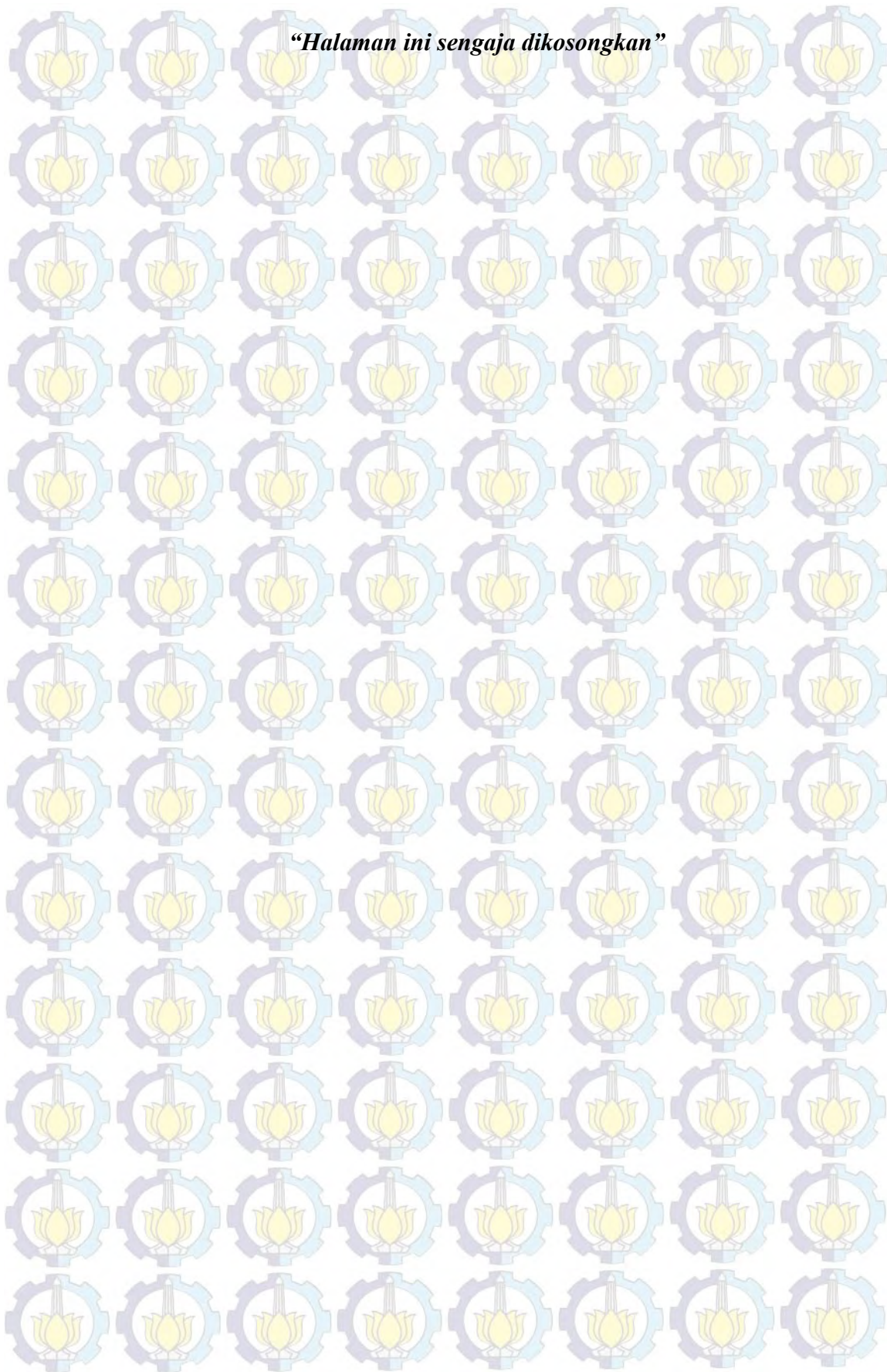


Gambar E.5 Dengan inhibitor variasi konsentrasi 3,5 g/L suhu kamar (25°C)



Gambar E.6 Dengan inhibitor variasi konsentrasi 4 g/L suhu kamar (25°C)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di Jember, 21 Juli 1991 dengan nama lengkap Soraya Firdausi. Pendidikan formal yang telah ditempuh oleh penulis, yaitu di SD Negeri 1 Besuki, SMP Negeri 1 Situbondo dan SMA Negeri 1 Probolinggo. Setelah lulus dari SMA Negeri 1 Probolinggo, penulis melanjutkan pendidikan Sarjana (S1) di Jurusan Kimia FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember (2010-2014). Kemudian penulis melanjutkan pendidikan Program Magister (S2) di Jurusan

Kimia FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis mengambil bidang minat Instrumentasi dan Sains Analitik dibawah bimbingan Dr.rer.nat Fredy Kurniawan, M.Si.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail raya.soraya21@gmail.com.